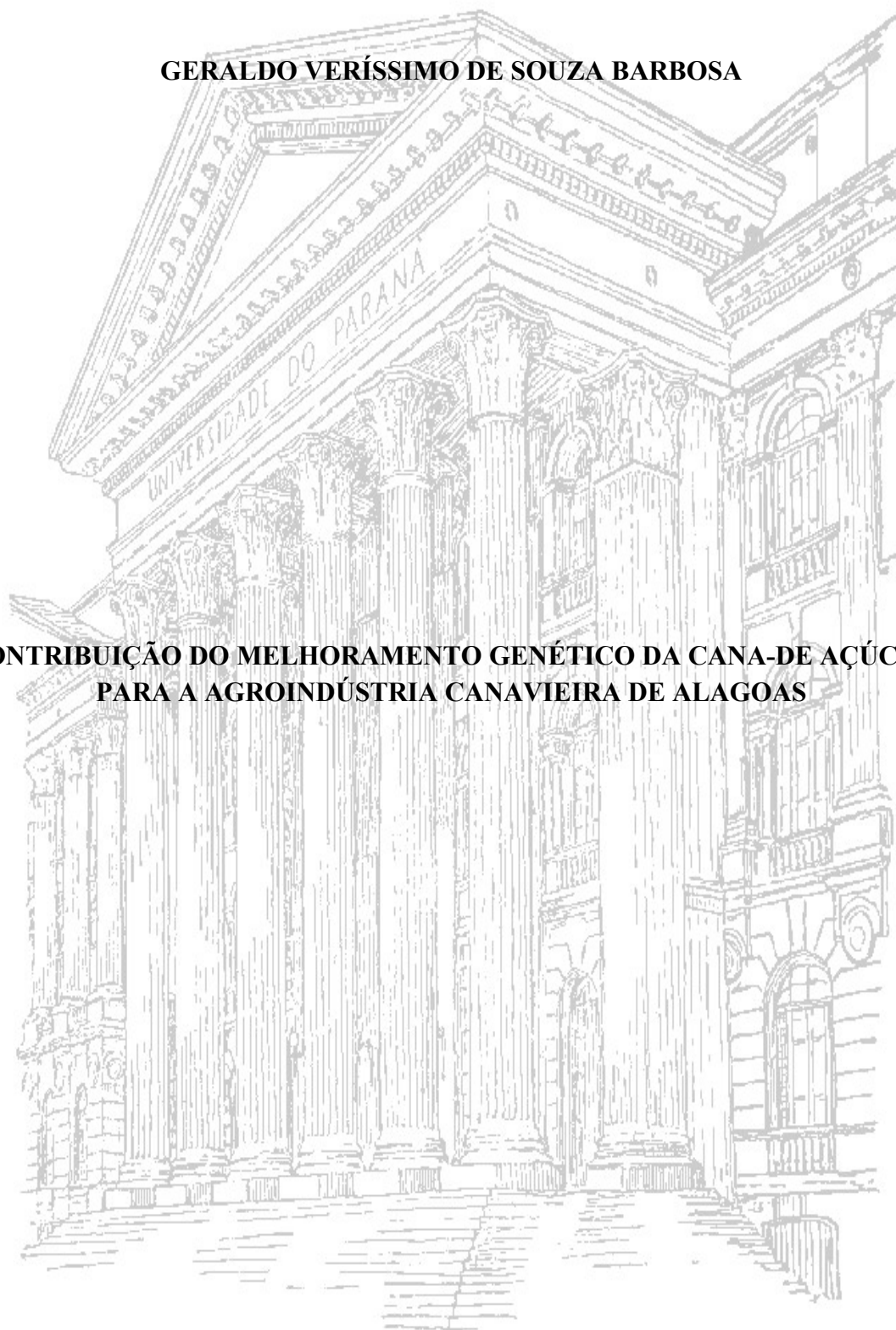


**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**GERALDO VERÍSSIMO DE SOUZA BARBOSA**

**CONTRIBUIÇÃO DO MELHORAMENTO GENÉTICO DA CANA-DE AÇÚCAR  
PARA A AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE ALAGOAS**



**CURITIBA**

**2014**

**GERALDO VERÍSSIMO DE SOUZA BARBOSA**

**CONTRIBUIÇÃO DO MELHORAMENTO GENÉTICO DA CANA-DE-AÇÚCAR  
PARA A AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE ALAGOAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador: Dr. Ricardo Augusto de Oliveira

Co-orientador: Dr. Edelclaiton Daros

Co-orientador: Dr. João Carlos Bespalhok Filho

**CURITIBA**

**2014**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
AGRONOMIA - PRODUÇÃO VEGETAL



## PARECER

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, reuniram-se para realizar a arguição da Tese de DOUTORADO, apresentada pelo candidato **GERALDO VERÍSSIMO DE SOUZA BARBOSA**, sob o título "**CONTRIBUIÇÃO DO MELHORAMENTO GENÉTICO DA CANA-DE-AÇÚCAR PARA A AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE ALAGOAS**", para obtenção do grau de Doutor em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato são de parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Tese.

Curitiba, 13 de Fevereiro de 2014.

Professora Dra. Louise Larissa May De Mio  
Coordenadora do Programa

Professor Dr. Hermann Paulo Hoffmann  
Primeiro Examinador

Professor Dr. Marcelo de Menezes Cruz  
Segundo Examinador

Professor Dr. José Luis Camargo Zambon  
Terceiro Examinador

Professor Dr. João Carlos Bessalho Filho  
Quarto Examinador

Professor Dr. Edelclaiton Daros  
Quinto Examinador

Professor Dr. Ricardo Augusto de Oliveira  
Presidente da Banca e Orientador

Luz do sol

Que a folha traga e traduz

Em verde novo, em folha, em graça, em vida, em força,  
em luz...

(Caetano Veloso).

Aos meus saudosos pais

José Correia Barbosa e Laura de Souza Barbosa

*(in memoriam)*

**DEDICO**

Aos meus queridos irmãos e sobrinhos

**OFEREÇO**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus familiares, pelo incentivo e apoio na realização do Curso.

Aos estimados amigos Professores da UFPR, pelos ensinamentos, conselhos e apoio durante a realização deste Curso. Agradeço especialmente: ao Professor Dr. Edelclaiton Daros, pelo incentivo e por ter possibilitado a realização deste Curso; ao Professor Dr. Ricardo Augusto de Oliveira, pela segura orientação, confiança e contribuições; aos Professores Drs. João Carlos Bessalho Filho e José Luis Camargo Zambom, pelas sugestões, contribuições e agradável convivência.

Ao Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal, da Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de realização do Curso de Doutorado.

À Universidade Federal de Alagoas (UFAL) e a Unidade Acadêmica Centro de Ciências Agrárias (CECA), pelo apoio institucional na realização deste Curso.

À Professora Dra. Ana Dayse Rezende Dórea, pelo incentivo para a realização deste Curso.

Ao estimado amigo Professor Dr. Marcelo de Menezes Cruz, pelo companheirismo, incentivo, apoio, colaboração e sugestões.

A equipe do PMGCA/CECA/UFAL, pelo grande contributo de todos no desenvolvimento de importantes pesquisas para a obtenção de cultivares RB de cana-de-açúcar. Agradeço ainda o apoio na execução dos ensaios desta pesquisa.

Ao Engenheiro Agrônomo Carlos de Assis Diniz, pela participação fundamental no processamento de dados, condução de ensaios e valiosas sugestões.

A todos os colegas do Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal da UFPR. Em especial aos amigos e companheiros de convivência Antônio Marcos Iaia, Luiz José de Oliveira, Luís Cláudio Inácio da Silveira e Antônio Ribeiro Fernandes Júnior.

Ao estimado amigo Professor Dr. Hermann Paulo Hoffmann, pelo apoio e sugestões.

A todos os companheiros dos programas de pesquisa das Universidades Federais da RIDEA, pelo grande empenho na obtenção de cultivares RB de cana-de-açúcar.

Ao Professor Dr. Lailton Soares, que durante a minha ausência assumiu a disciplina Estatística Geral do Curso de Agronomia do CECA/UFAL, bem como pelas valiosas sugestões.

Ao Professor Dr. Paulo Vanderlei Ferreira, que durante a minha ausência assumiu a disciplina Experimentação Agropecuária do Curso de Agronomia do CECA/UFAL.

Ao amigo Engenheiro Agrônomo João Messias dos Santos, pelo grande apoio durante minha ausência do PMGCA/CECA/UFAL, bem como pelas valiosas sugestões.

Aos Engenheiros Agrônomos Cândido Carnaúba Mota e Luiz Chaves Ximenes Filho, do NATT/CRPAAA, pela cessão dos resultados experimentais com clones e cultivares SP de cana-de-açúcar em Alagoas.

Ao SINDAÇÚCAR, pelas valiosas informações históricas de rendimento de cana-de-açúcar em Alagoas.

Às empresas parceiras da UFAL no desenvolvimento do PMGCA/CECA/UFAL.

Às usinas Sinimbu, Caeté, Coruripe e Santo Antônio, pelo apoio no desenvolvimento de experimentos e análise laboratorial de amostras da cana-de-açúcar.

À Secretária do Programa de Doutorado em Produção Vegetal, Sra. Lucimara Antunes, pela atenção e apoio.

Ao Engenheiro Agrônomo Dr. Francisco Gerber, da UFPR, pelo apoio e convivência.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a conclusão deste Curso.

## **BIOGRAFIA**

Geraldo Veríssimo de Souza Barbosa, filho de José Correia Barbosa e Laura de Souza Barbosa, nasceu em Taquarana, Alagoas, em 01 de outubro de 1953.

Concluiu o ensino básico e fundamental na cidade de Arapiraca, Alagoas.

Em 1972 concluiu o Curso de Técnico Agrícola, pela Escola Agrotécnica Federal de Satuba, Alagoas (atual Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, campus Satuba).

Em dezembro de 1976, formou-se em Agronomia, pela Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Em 1977 foi contratado pela Estação Experimental da Cana-de-açúcar de Alagoas (EECAA), em Rio Largo, Alagoas, no cargo de pesquisador na Área de Entomologia. Em 1978 passou para o PLANALSUCAR, Coordenadoria Regional Nordeste (COONE), em Rio Largo, Alagoas, exercendo as mesmas atividades até 1981, quando passou a ser responsável pelo Núcleo de Estatística, Planejamento e Avaliação.

Em 1986 recebeu o título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração em Estatística e Experimentação Agronômica, pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz (ESALQ), da Universidade de São Paulo (USP).

De setembro de 1986 a dezembro de 1990, foi chefe da Divisão de Pesquisa e Desenvolvimento do PLANALSUCAR, COONE.

Em 1990 passou para a Universidade Federal de Alagoas (UFAL), lotado no Centro de Ciências Agrárias (CECA) no cargo de professor, e desde então leciona as disciplinas Estatística Geral, Bioestatística, Estatística Experimental e Estatística e Experimentação Agronômica.

É pesquisador do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (PMGCA) do CECA-UFAL, que integra a Rede Interuniversitária para ao Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA). Desde 1998 assumiu a coordenação desse programa. É responsável técnico da UFAL junto ao Serviço Nacional de Proteção de Cultivares, do Ministério da Agricultura e Abastecimento, na proteção de doze cultivares de cana-de-açúcar RB.

De 1993 a 2002 foi Diretor Secretário Tesoureiro da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, STAB – Regional Leste.

Em 26 de abril de 2006 recebeu a Medalha de Mérito Universitário – UFAL 45 Anos.

Em 2011, iniciou o Curso de Doutorado em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, no Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Em fevereiro de 2014 concluiu sua Tese na UFPR.



## RESUMO

O atual Estado de Alagoas, situado no Nordeste do Brasil, teve seu povoamento iniciado no ano de 1570 com o cultivo da cana-de-açúcar. Inúmeros engenhos produtores de açúcar foram instalados durante três séculos e meio nesse espaço, que se transformaram nas atuais 24 usinas produtoras de açúcar, etanol e na cogeração de eletricidade, apoiadas por 7.650 fornecedores de cana. Historicamente, o melhoramento genético teve grande contribuição para essa cadeia produtiva. Na safra 1975/1976, Alagoas cultivou 267 mil hectares de cana-de-açúcar, onde predominava o cultivo das variedades Co331 e CB45-3, com baixos rendimentos em açúcar. Investimentos realizados pelos setores públicos e privados desenvolveram e introduziram cultivares modernas. Na safra 2010/2011, com área de 452 mil hectares, prevaleceu o cultivo das variedades das siglas RB e SP, com maiores rendimentos em açúcar. O objetivo deste trabalho foi registrar a contribuição do melhoramento genético da cana-de-açúcar para a agroindústria canavieira de Alagoas nas últimas quatro décadas. Por meio de análise documental, análises estatísticas de ensaios com cultivares desenvolvidas e introduzidas, bem como análise dos rendimentos agroindustriais alcançados em quatro décadas, associados à adoção das cultivares pelos produtores do Estado, foram avaliados e apresentados em três capítulos: i) as estratégias adotadas na hibridação e seleção de genótipos para os ambientes da região em dois períodos (1975 a 1992 e 1993 a 2010); ii) o êxito da seleção recorrente da cana-de-açúcar, tendo como base a cultivar RB72454; e iii) o impacto da adoção de novas cultivares nos rendimentos agroindustriais e no retorno econômico aos produtores de cana-de-açúcar de Alagoas. Os resultados indicaram que: com a estratégia adotada entre 1975 e 1992, visando aumentar o teor de sacarose, o ganho anual no rendimento de açúcar foi  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  e, com a estratégia de elevar o rendimento agrícola, de 1993 a 2010, o aumento anual no rendimento de açúcar foi de  $140 \text{ kg ha}^{-1}$ , com expressiva contribuição da cultivar RB92579; evidenciou-se grande eficácia da seleção recorrente para duas gerações da RB72454, e que ainda não foi atingido um limite de acumulação de sacarose da cana, indicando possível ganho para a próxima geração da RB72454; as cultivares mais adotadas nas últimas três décadas e que substituíram a Co331 e CB45-3 foram SP70-1143, SP71-1406, RB72454, SP79-1011, SP81-3250, RB83102, RB867515 e RB92579; o ganho em rendimento entre as safras 1993/1994 e 2010/2011 foi 0,200 t de açúcares redutores totais  $\text{ha}^{-1}$  (TARTH), valor quatro vezes superior ao progresso observado entre as safras 1975/1976 e 1992/1993; poder-se-ia esperar rendimento médio de 4,93 TARTH com o uso das cultivares Co331 e CB45-3, valor muito inferior ao rendimento médio de 9,94 TARTH, com o uso das cultivares das siglas RB e SP; as cultivares adotadas contribuíram na safra 2010/2011 com adicional extra de US\$ 17,36 milhões, e deste montante, US\$ 10,42 milhões podem ser creditados à adoção das cultivares RB; em 2010, a RB92579 contribuiu a mais que à SP79-1011, o montante de US\$ 50,30 milhões, ou  $625,54 \text{ US\$ ha}^{-1}$ . Os resultados desse estudo servirão de subsídio para a captação de recursos financeiros junto às empresas privadas do setor produtivo canavieiro alagoano, e assim poder incrementar os investimentos nas pesquisas de obtenção de cultivares RB da RIDESA/UFAL.

**Palavras-chave:** *Sacharum* spp., estratégias do melhoramento genético, seleção recorrente, cultivar, ganho genético.

## CONTRIBUTION OF THE BREEDING SUGARCANE IN THE STATE OF ALAGOAS, BRAZIL.

### ABSTRACT

In 1975, the State of Alagoas cultivated 267,000 hectares of sugarcane, where the Co331 and CB45-3 varieties prevailed with low sugar yield. Investments done by the public and private sectors have developed and introduced modern cultivars. In 2010, the RB and SP varieties prevailed with higher sugar yield in an area of 452,000 hectares. This work analyzes the contribution of genetic improvement of the sugarcane Alagoas in this period. The conclusion is that: between 1975 and 1992, the annual gain in sugar yield was 80 kg ha<sup>-1</sup>; from 1993 to 2010, an annual increase occurred in the sugar yield of 140 kg ha<sup>-1</sup>, with an exceptional contribution from the RB92579 cultivar; in nearly four decades of research, it was observed that the RB cultivar sucrose gain in relation to CB45-3 was 1.1% per year; a large outcome of the recurrent selection for the two generations of RB72454 was observed; an accumulation limit of cane sugars has not been achieved yet, indicating a possible gain for the next generation of the RB72454; the cultivars which had higher harvested area: SP70-1143, SP71-1406, RB72454, SP79-1011, SP81-3250, RB83102, RB92579 and RB867515; the gain in sugar yield from 1993/1994 to 2010/2011 was 0,200 tons of total reducing sugars per hectare (TARTH), four times more than the progress from 1975/1976 to 1992/1993; can be expected 4.93 TARTH with the use of old cultivars, in contrast with 9, 94 TARTH, with the current cultivars; the adopted cultivars contributed in the 2010/2011 harvest with an extra US\$ 17.36 million and from this amount, US\$ 10.42 million can be credited to the adoption of RB cultivars; the RB92579 contributed more than the SP79-1011 in 2010, the amount of US\$ 50.30 million, or 625.54 US\$ ha<sup>-1</sup>.

**Key words:** *Saccharum* spp., selection strategies, cultivar, recurrent selection, genetic improvement.

## LISTA DE FIGURAS

### REVISÃO DE LITERATURA

Figura 1. Distribuição espacial do setor canavieiro alagoano em 2011. Fonte: (SINDAÇÚCAR, 2012).....	30
Figura 2. Média mensal da precipitação pluvial da região canavieira de Alagoas. Gráfico elaborado pelo autor com base nos dados de Sindaçúcar (2012).....	31
Figura 3. Evolução do processamento da cana-de-açúcar - do engenho banguê à usina. Fonte: (STUPIELLO, 2000).....	35
Figura 4. Áreas das unidades de pesquisa do PLANALSUCAR: (a) Coordenadorias Regionais e 30 Estações Experimentais; (b) Instituições Federais de Ensino Superior (IFES) da RIDESA e 72 bases de pesquisa. Fonte: (BARBOSA et al, 2012).....	44
Figura 5. Ilustrações e procedimentos de hibridação da cana na Estação de Floração e Cruzamento Serra do Ouro – RIDESA/UFAL, Murici, Alagoas. (a): vista aérea da Serra do Ouro; (b): campo com profuso florescimento da cana; (c): cruzamentos do tipo Bi-Parental; (d): cruzamentos do tipo Multi-Parental; (e): panícula com espiguetas/cariopses; (f): amadurecimento das espiguetas/cariopses; (f): espiguetas com destaque de cariopses.....	46
Figura 6. Principais cultivares RB protegidas pela UFAL e que foram adotadas em 2011 pelos produtores de Alagoas.....	47
Figura 7. Cultivar RB92579 colhida em 2006 na usina Agrovale, Bahia.....	48

### CAPÍTULO I - MELHORAMENTO GENÉTICO DA CANA-DE-AÇÚCAR EM ALAGOAS, BRASIL: ESTRATÉGIAS E RESULTADOS DE 1975 A 2010

Figura 1. Desempenho médio das cultivares introduzidas/liberadas em Alagoas e respectivos padrões nos experimentos, de acordo com o período de realização das pesquisas (P1: 1975 a 1992 e P2: 1993 a 2010), para as características Pol % caldo - POL (a, b), t cana ha <sup>-1</sup> - TCH (c, d) e t POL ha <sup>-1</sup> - TPH (e, f).....	67
--	----

## **CAPÍTULO II - SELEÇÃO RECORRENTE DA CANA-DE-AÇÚCAR EM ALAGOAS COM BASE NA CULTIVAR RB72454**

- Figura 1. Médias de rendimento de t sacarose  $ha^{-1}$  (TSH) das cultivares CB45-3, RB72454, 1ª geração da RB72454 (RB867515, RB93509, RB931003, RB931011 e RB951541) e 2ª geração da RB72454 (RB98710 e RB99395). Ganho percentual de TSH devido à substituição da cultivar antecedente por uma população melhorada. Resultados baseados no ensaio realizado em 2012/2013, usando HPLC para determinação do verdadeiro teor de sacarose da cana..... 86

## **CAPÍTULO III - ADOÇÃO DE CULTIVARES DA CANA-DE-AÇÚCAR EM ALAGOAS E GANHO DE RENDIMENTO ENTRE AS SAFRAS 1975/1976 E 2010/2011**

- Figura 1. Evolução do percentual da área cultivada com as principais variedades de cana-de-açúcar em Alagoas entre as safras 1975/1976 e 2010/2011..... 99
- Figura 2. Rendimentos agroindustriais da cana-de-açúcar em Alagoas da safra 1975/1976 a safra 1992/1993 (Período 1) e da safra 1993/1994 a safra 2010/2011 (Período 2). Ajuste de regressão linear com dois segmentos:  $x_{i1}$  é tempo em anos (1, 2,...,36), correspondente as safras (1975/1976, 1976/1977, ..., 2010/2011);  $x_{i2}$  é uma variável indicadora:  $x_{i2} = 0$  se  $x_{i1} \leq 18$  e  $x_{i2} = 1$  se  $x_{i1} > 18$ . (a) açúcares redutores totais (ART; kg de ART por tonelada de cana); (b) rendimento agrícola (TCH; t cana  $ha^{-1}$ ); (c) rendimento de açúcares redutores totais (TARTH; t ART  $ha^{-1}$ )..... 101
- Figura 3. Evolução do percentual de cultivo de grupos de variedades em Alagoas da safra 1975/1976 a safra 2010/2011.  $G_0$ : Co331 e CB45-3;  $G_1$ : NA56-79, Co997, RB70141, RB70194, RB72454, SP70-1143, SP71-1406, SP71-6949, RB75126, SP79-1011 e RB83102;  $G_2$ : SP78-4764, SP81-3250, VAT90-212, RB867515, RB92579 e RB93509..... 103

## LISTA DE TABELAS

### REVISÃO DE LITERATURA

Tabela 1. Número de acessos em 2011 do Banco de Germoplasma da cana-de-açúcar da Serra do Ouro – RIDESA/UFAL, Murici, Alagoas.....	45
--	----

### CAPÍTULO I - MELHORAMENTO GENÉTICO DA CANA-DE-AÇÚCAR EM ALAGOAS, BRASIL: ESTRATÉGIAS E RESULTADOS DE 1975 A 2010

Tabela 1. Período da realização dos ensaios, cultivar padrão do período, cultivar introduzida e/ou liberada em Alagoas de 1975 a 2010, seus genitores feminino (F) e masculino (M), instituição obtentora, ano da introdução (I) ou liberação (L) e número de ensaios colhidos (EC).....	64
Tabela 2. Resultados da análise estatística das variáveis Pol % caldo (POL), t cana ha <sup>-1</sup> (TCH) e t POL ha <sup>-1</sup> (TPH), dos ensaios colhidos (EC) com as 22 cultivares de cana-de-açúcar introduzidas ou liberadas em Alagoas em dois períodos de realização dos ensaios (1975 a 1992 e 1993 a 2010). Estimativas de F, médias, e diferenças de ganhos das cultivares liberadas (cl) em relação a cultivar padrão (cp).	66

### CAPÍTULO II - SELEÇÃO RECORRENTE DA CANA-DE-AÇÚCAR EM ALAGOAS COM BASE NA CULTIVAR RB72454

Tabela 1. Resultados dos ensaios colhidos para liberações de cultivares de cana-de-açúcar em Alagoas no período de 1980 a 2010. Número de ensaios colhidos (EC), médias das variáveis Pol % caldo (POL), t cana ha <sup>-1</sup> (TCH) e t Pol ha <sup>-1</sup> (TPH) e incrementos (%) no confronto de médias (cultivares RB vs. CB45-3, descendentes da RB72454 vs. RB72454 e 2ª geração da RB72454 vs. 1ª geração da RB72454). 1ª geração da RB72454: RB867515, RB93509, RB931003, RB931011 e RB951541; 2ª geração da RB72454: RB98710 e RB99395.....	81
--	----

Tabela 2. Resultados médios de 12 repetições das variáveis POL, SACAROSE (%), GLICOSE (%), FRUTOSE (%), TCH e TSH das cultivares do ensaio 2012/2013. Análise de variância, com discriminação de grupos de médias pelo critério de Scott-Knott (1974) a 5% de probabilidade de erro. Teste t para os contrastes de médias e seus incrementos percentuais. Coeficientes de correlação linear entre as médias das variáveis POL e TCH das cultivares dos ensaios de liberação e entre as médias das variáveis POL e SACAROSE (%) das cultivares do ensaio 2012/2013.....	85
--	----

### **CAPÍTULO III - ADOÇÃO DE CULTIVARES DA CANA-DE-AÇÚCAR EM ALAGOAS E GANHO DE RENDIMENTO ENTRE AS SAFRAS 1975/1976 E 2010/2011**

Tabela 1. Estimativas dos coeficientes de regressão múltipla com resultados dos testes F e t para as variáveis kg de ART por tonelada de cana (ART), t cana ha <sup>-1</sup> (TCH) e t de ART ha <sup>-1</sup> (TARTH).....	104
Tabela 2. Cenários com estimativa kg de ART por tonelada de cana (ART), t cana ha <sup>-1</sup> (TCH) e t de ART ha <sup>-1</sup> (TARTH) para diferentes níveis de precipitação pluvial de setembro a março da safra (PS), precipitação pluvial de setembro a março da safra anterior (PSA) e participação percentual dos grupos de variedades - G <sub>0</sub> : Co331 e CB45-3; G <sub>1</sub> : NA56-79, Co997, RB70141, RB70194, RB72454, SP70-1143, SP71-1406, SP71-6949, RB75126, SP79-1011 e RB83102; G <sub>2</sub> : SP78-4764, SP81-3250, VAT90-212, RB867515, RB92579 e RB93509.....	105

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
	REFERÊNCIAS .....	17
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>19</b>
2.1	A CANA-DE-AÇÚCAR.....	19
2.2	IMPORTÂNCIA SÓCIO-ECONÔMICA DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	20
2.3	MELHORAMENTO GENÉTICO DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	22
2.3.1	PROGRAMAS DE MELHORAMENTO GENÉTICO .....	22
2.3.2	MELHORAMENTO GENÉTICO PARA RESISTÊNCIA A DOENÇAS.....	25
2.3.3	CONTRIBUIÇÃO DO MELHORAMENTO GENÉTICO.....	26
2.4	MELHORAMENTO GENÉTICO DA CANA-DE-AÇÚCAR EM ALAGOAS.....	29
2.4.1	O AMBIENTE DE PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR DE ALAGOAS.....	29
2.4.2	A ECONOMIA CANAVIEIRA ALAGOANA E O CULTIVO DE VARIEDADES .....	32
2.4.2.1	DO ENGENHO BANGUÊ À USINA – DOMÍNIO DA CRIOLA E CAIANA.....	32
2.4.2.2	IMPORTAÇÃO DOS PRIMEIROS HÍBRIDOS - INÍCIO DO MELHORAMENTO GENÉTICO EM ALAGOAS .....	35
2.4.2.3	ORIGEM DAS CULTIVARES RB – EECOA E PLANALSUCAR.....	38
2.4.2.4	A EECOA .....	39
2.4.2.5	O PLANALSUCAR .....	40
2.4.2.6	A INTRODUÇÃO DE CULTIVARES SP EM ALAGOAS.....	42
2.4.2.7	PROBLEMAS DE SANIDADE VEGETAL .....	43
2.4.2.8	A FASE RIDESA E CONSOLIDAÇÃO DAS CULTIVARES RB .....	43
2.5	UM OLHAR PARA O FUTURO – A CANA ENERGIA .....	50
	REFERÊNCIAS .....	52
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO I - MELHORAMENTO GENÉTICO DA CANA-DE-AÇÚCAR EM ALAGOAS, BRASIL: ESTRATÉGIAS E RESULTADOS DE 1975 A 2010 .....</b>	<b>60</b>
3.1	INTRODUÇÃO .....	61
3.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	62
3.2.1	O AMBIENTE DE PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR DE ALAGOAS.....	62
3.2.2	ESTRATÉGIAS E CULTIVARES AVALIADAS NOS EXPERIMENTOS.....	63
3.2.3	VARIÁVEIS, ANÁLISE ESTATÍSTICA E GANHO DE RENDIMENTO EM AÇÚCAR ..	64
3.3	RESULTADOS .....	65
3.3.1	GANHO DE RENDIMENTO EM AÇÚCAR.....	65
3.3.2	USO DE PARENTAIS .....	68

3.4	DISCUSSÃO .....	69
3.4.1	GANHO DE RENDIMENTO EM AÇÚCAR.....	69
3.4.2	USO DE PARENTAIS .....	71
3.5	CONCLUSÕES .....	72
	REFERÊNCIAS .....	72
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO II - SELEÇÃO RECORRENTE DA CANA-DE-AÇÚCAR EM ALAGOAS COM BASE NA CULTIVAR RB72454.....</b>	<b>75</b>
4.1	INTRODUÇÃO.....	76
4.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	77
4.2.1	PROCEDIMENTOS PARA OBTENÇÃO DE CULTIVARES RB .....	77
4.2.2	ENSAIOS DE LIBERAÇÃO, VARIÁVEIS E ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	78
4.2.3	ENSAIO 2012/2013, VARIÁVEIS E ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	79
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	80
4.3.1	ENSAIOS DE LIBERAÇÃO DAS CULTIVARES.....	80
4.3.2	ENSAIO 2012/2013.....	82
4.4	CONCLUSÕES .....	88
	REFERÊNCIAS .....	88
<b>5</b>	<b>CAPÍTULO III - ADOÇÃO DE CULTIVARES DA CANA-DE-AÇÚCAR EM ALAGOAS E GANHO DE RENDIMENTO ENTRE AS SAFRAS 1975/1976 E 2010/2011 .....</b>	<b>91</b>
5.1	INTRODUÇÃO.....	92
5.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	93
5.2.1	O AMBIENTE DE PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR DE ALAGOAS.....	93
5.2.2	COLETA DOS DADOS.....	94
5.2.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	94
5.2.3.1	ADOÇÃO DAS VARIEDADES.....	94
5.2.3.2	EVOLUÇÃO DE RENDIMENTOS AGROINDUSTRIAIS .....	94
5.2.3.3	RENDIMENTO EM FUNÇÃO DA ADOÇÃO DE VARIEDADES E DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL .....	95
5.2.3.4	GANHOS ECONÔMICOS COM O USO DE CULTIVARES MELHORADAS.....	96
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	97
5.3.1	ADOÇÃO DAS VARIEDADES.....	97
5.3.2	EVOLUÇÃO DE RENDIMENTOS AGROINDUSTRIAIS .....	100
5.3.2.1	CONTEÚDO DE AÇÚCARES REDUTORES TOTAIS .....	100
5.3.2.2	RENDIMENTO AGRÍCOLA .....	100



5.3.2.3	RENDIMENTO DE AÇÚCARES REDUTORES TOTAIS.....	100
5.3.3	RENDIMENTO EM FUNÇÃO DA ADOÇÃO DE VARIEDADES E DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL .....	102
5.3.4	GANHOS ECONÔMICOS COM O USO DE CULTIVARES MELHORADAS.....	106
5.4	CONCLUSÕES .....	108
	REFERÊNCIAS.....	109
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	<b>112</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>113</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O povoamento do atual Estado de Alagoas, situado no Nordeste do Brasil, teve início no ano de 1570 com o cultivo da cana-de-açúcar. Inúmeros engenhos produtores de açúcar foram instalados em solos férteis à margem dos rios e próximo ao litoral durante três séculos e meio, atingindo quase 1.000 unidades em 1905 (ANDRADE, 2010), que se transformaram nas atuais 24 usinas produtoras de açúcar, etanol e na cogeração de eletricidade. Este setor, que também conta com 7.650 fornecedores de cana, apresenta relevante função social e econômica no emprego da mão-de-obra, na formação de renda, na geração de divisas, além de ser estratégico em termos energéticos (SINDAÇÚCAR, 2012).

Historicamente, o melhoramento genético teve grande contribuição para essa cadeia produtiva. De acordo com Andrade (1985), predominou por mais de três séculos o cultivo das variedades Crioula, Caiana, Roxa, Rosa, Ubá e Cristalina; no início do século XX foram introduzidos os primeiros híbridos POJ (Java/Indonésia), Co (Coimbatore/Índia) e CP (Canal Pont/USA); e a partir de 1950 foram plantadas as cultivares brasileiras CB (Campos Brasil) e IAC (Instituto Agrônomo de Campinas).

As principais regiões canavieiras do mundo procuram fazer seleção de genótipos locais, buscando aqueles que melhor se adaptam às condições de cultivo da região. Por conseguinte, é necessário desenvolver cultivares apropriadas para cada ambiente de produção, pois a aplicação das estratégias e operacionalização do melhoramento genético da cana-de-açúcar de uma região pode não ter o mesmo resultado em outra (BURNQUIST et al., 2010).

O desenvolvimento de cultivares de cana-de-açúcar em Alagoas teve início em 1967, num modelo de parceria público-privada, com o objetivo de elevar os rendimentos em açúcar. Neste ano, foi estabelecido um Banco de Germoplasma, sendo importados diversos acessos do gênero *Saccharum* e híbridos de várias partes do mundo. Foi criada a Estação de Floração e Cruzamento Serra do Ouro. A partir de então, realizaram-se hibridações e seleção de indivíduos superiores na obtenção de cultivares da sigla RB - República do Brasil (BARBOSA et al., 2002), além da importação e seleção local de cultivares da sigla SP – São Paulo (CARVALHO, 2000).

Em várias regiões canavieiras do mundo são relatados ganhos de rendimento em açúcar entre 1 e 2% ao ano (BERDING et al., 2004; EDMÉ et al., 2005; BARBOSA et al., 2012). Hogarth (1976) estimou que metade desse ganho é atribuída ao melhoramento genético. Também é revelada a grande contribuição da seleção recorrente, estratégia que usa o mais rápido possível os novos clones superiores como genitores (BREAUX, 1984; COX;

STRINGER, 2006; LINGLE et al., 2010). De outra parte, existem afirmações do alcance do limite na acumulação de sacarose da cana (JACKSON, 2005; LINGLE et al., 2010). Associado a isto, há relatos que nas últimas quatro décadas, os aumentos de rendimento de açúcar em várias regiões foram decorrentes de cultivares mais produtivas em rendimento da massa do colmo da cana, sem ter melhoria do teor de sacarose (JACKSON, 2005; COX; STRINGER, 2006; BURNQUIST et al., 2010).

Os canaviais de Alagoas ocupavam área próxima de 175 mil hectares em 1970. Esta área quase dobrou na safra 1975/1976 e atingiu 450 mil ha na safra 1985/1986, estabilizando nesse patamar até as safras mais recentes (BARBOSA et al., 2008). Na safra 2010/2011 foram cultivados 452 mil ha, sendo 71% em terras de usinas e 29% em terras de fornecedores, com moagem de 29,1 milhões de toneladas de cana pelas usinas (SINDAÇÚCAR, 2012).

Na safra 1975/1976, o rendimento agrícola médio alagoano foi de 36,5 t cana ha<sup>-1</sup> (TCH) e para cada tonelada de cana eram recuperados 103,8 kg de Açúcares Redutores Totais (ART), perfazendo 3,8 t ART ha<sup>-1</sup> (3,8 TARTH); nesse período, era baixo o nível de adoção de tecnologias nas diversas áreas, caracterizado por pouco uso de insumos, e 93% da área era ocupada pelas cultivares Co331 e CB45-3. Os rendimentos médios da safra 2010/2011 foram de 66,0 TCH e em cada tonelada de cana foram recuperados 135,2 kg de ART, resultando 8,9 TARTH. Ocorreu grande mudança na adoção de tecnologias nas diversas áreas, destacando-se o cultivo de modernas cultivares das siglas RB e SP, melhora no manejo da cultura e maior eficiência na recuperação industrial dos açúcares da cana (BARBOSA et al., 2008; SINDAÇÚCAR, 2012).

O objetivo geral deste trabalho foi registrar, por meio de uma análise documental e análise de dados, a contribuição do melhoramento genético da cana-de-açúcar para a agroindústria canavieira de Alagoas nas últimas quatro décadas. Para tal, em três capítulos, avaliaram-se e apresentaram-se as seguintes realizações: i) estratégias adotada na hibridação e seleção de genótipos locais em dois períodos (1975 a 1992 e 1993 a 2010); ii) êxito da seleção recorrente da cana-de-açúcar em Alagoas, tendo como população base a cultivar RB72454; e iii) impacto da adoção de novas cultivares nos rendimentos agroindustriais e no retorno econômico aos produtores de cana-de-açúcar de Alagoas em dois períodos de safras (1975/1976 a 1992/1993 e 1993/1994 a 2010/2011). Os resultados desse estudo servirão de subsídios para mostrar as empresas privadas do setor produtivo canavieiro alagoano que é preciso investir mais recursos nas pesquisas de obtenção de cultivares RB de cana-de-açúcar da RIDESA/UFAL.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, J. C. **Escorço histórico de antigas variedades de cana-de-açúcar**. Maceió: Asplana, 1985. 285 p.
- ANDRADE, M. C. **Usinas e destilarias das Alagoas**: Uma contribuição ao estudo da produção do espaço. 2. ed. Maceió: Edufal, 2010. 138 p.
- BARBOSA, G.V.S.; CRUZ, M. M.; SOARES, L.; ROCHA, A. M. C.; RIBEIRO, C. A. G.; SOUSA, A. J. R.; FERREIRA, J. L. C.; BARRETO, E. J. S.; SILVA, W. C. M.; SANTOS, A. V. P. A brief report on sugarcane breeding program in Alagoas, Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v.2, p. 613-616, 2002.
- BARBOSA, G. V. S.; SILVA, P. P.; SANTOS, J. M. ; CRUZ, M. M. ; SOUSA, A. J. R.; RIBEIRO, C. A. G.; FERREIRA, J. L. C.; SAMPAIO FILHO, F.; SANTOS, T. W. T. ; NASCIMENTO, B. F. C. ; SILVA, W. T. ; ALMEIDA, B. F. A. Desempenho agroindustrial e censo de variedades de cana-de-açúcar cultivadas no Estado de Alagoas. In: Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil - STAB, 9., 2008, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB Regional Leste, 2008. p. 464-470.
- BARBOSA, M. H. P.; RESENDE, M. D. V.; DIAS, L. A. S.; BARBOSA, G. V. S.; OLIVEIRA, R. A.; PETERNELLI, L. A.; DAROS, E. Genetic improvement of sugar cane for bioenergy: the Brazilian experience in network research with RIDESA. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v.12, p. 87-98, 2012.
- BERDING, N.; HOGARTH M.; COX, M. Plant Improvement of Sugarcane, In: JAMES, G. L. (Ed.). **Sugarcane**. 2. ed., Victoria: Blackwell Science, 2004. p. 20-53.
- BREAUX, R. D. Breeding to enhance sucrose content of sugarcane varieties in Louisiana. **Field Crops Research**, v.9, p. 59-67, 1984.
- BURNQUIST, W. L., REDSHAW, K., GILMOUR, R. F. Evaluating sugarcane R&D performance: evaluation of three breeding programs. In: ISSCT CONGRESS, 27., 2010, Vera Cruz. **Proceedings...** Vera Cruz: ISSCT, 2010. p. 1-15.
- CARVALHO, C. P. O. **Análise da reestruturação produtiva da agroindústria sucro-alcooleira alagoana**. Maceió: EDUFAL, 2000. 74 p.
- COX, M. C.; STRINGER, J. K. Analysis of sugarcane productivity data: increases from new cultivars and improved management in Australia. In: MERCER, C. F. (Ed.). **AUSTRALASIAN PLANT BREEDING CONFERENCE**, 13., 2006, Christchurch. **Proceedings...** Christchurch: 2006, p. 1-5.
- EDMÉ, S. J.; MILLER, J. D.; GLAZ, B.; TAI, P. Y. P.; COMSTOCK, J. C. Genetic contribution to yield gains in the Florida sugarcane industry across 33 years. **Crop Science**, Madison, v.45, p. 92-97, 2005.
- HOGARTH, D. M. New varieties lift sugar production. **Producers Review**, v.66, p. 21-22, 1976.

JACKSON, P. A. Breeding for improved sugar content in sugarcane. **Field Crops Research**, v.92, p. 277-290, 2005.

LINGLE, S. E.; JOHNSON, R. M.; TEW, T. L.; VIATOR, R. P. Changes in juice quality and sugarcane yield with recurrent selection for sucrose. **Field Crops Research**, v.118, p. 152-157, 2010.

SINDAÇÚCAR. SINDICATO DA INDÚSTRIA DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL NO ESTADO DE ALAGOAS. Maceió. Disponível em: <<http://www.sindacucar-al.com.br/dados-estatisticos>>. Acessado em 07 de novembro de 2012.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar pertence à família *Poaceae*, tribo *Andropogonae* e ao gênero *Saccharum*. É uma gramínea perene, de grande porte, que se reproduz sexuadamente, preferencialmente por alogamia (ROACH; DANIELS, 1987; JAMES, 2004). Quando adulta, a planta tem estatura de 2 a 6 m, e pode ser colhida em vários ciclos sem a necessidade de um novo plantio (HENRY, 2010). As partes principais da planta são: colmo, folhas e raízes. O colmo de uma planta madura contém, em média, 2/3 de água e 1/3 de matéria seca (açúcares, sais e fibras), componentes de proporção variável em função da espécie/híbrido e da condição do cultivo. O colmo varia na forma e na cor e é formado por nós e entrenós. A propagação é assexuada, mediante o plantio de uma porção do colmo, chamada de rebolo ou tolete, que contém gemas presentes nos nós, e que brotam, perfilham e produzem novos colmos na forma de touceiras. As flores são hermafroditas e o fruto é uma cariopse. A reprodução sexuada se dá por meio da germinação de sua cariopse, que é uma estratégia usada por programas de melhoramento genético para a obtenção de variabilidade e seleção de novos clones (VAN DILLEWINJ, 1952; BARNES, 1974).

De acordo com Roach e Daniels (1987), no gênero *Saccharum* ocorrem seis espécies, originárias do Sudeste Asiático e da Nova Guiné, com a seguinte caracterização:

- i) *S. officinarum* - plantas de porte elevado, colmos grossos, alto teor de açúcar e de baixo teor de fibra; são chamadas de “canas nobres”;
- ii) *S. spontaneum* - plantas de colmos curtos, finos, fibrosos, praticamente sem açúcar; perfilhamento vigoroso e abundante; sistema radicular bem desenvolvido;
- iii) *S. robustum* - colmos muito altos, grossos, fibrosos e pobres em açúcar;
- iv) *S. barberi* - colmos de baixo a médio porte, finos, fibrosos e baixo teor de açúcar;
- v) *S. sinense* - colmos de alto porte, finos, fibrosos e regular teor de açúcar; raízes abundantes e fortes;
- vi) *S. edule* - plantas caracterizadas por apresentarem inflorescências empregadas na alimentação humana.

A cana-de-açúcar é uma planta poliploide, isto é, contém mais de duas cópias de cada um de seus cromossomos. São vários níveis de ploidia: a espécie *S. officinarum* possui em cada célula  $2n = 80 = 8x$  ( $x=10$  cromossomos); na espécie *S. spontaneum* é mais comum os tipos  $2n = 40, 64, 80, 96, 112$  e  $128 = 5x, 8x, 10x, 12x, 14x$  e  $16x$  ( $x=8$  cromossomos). As cultivares modernas são resultantes de cruzamentos genéticos interespecíficos realizados na primeira metade do século XX entre *S. officinarum* e *S. spontaneum* e têm entre 100 a 130 cromossomos, sendo 80% derivados de *S. officinarum*, 10% de *S. spontaneum* e 10% de recombinantes das duas espécies (PIPERIDIS et al., 2010). Os autores enfatizaram ainda que entre as culturas estudadas, a cana-de-açúcar é a que tem o genoma mais complexo, e que a complexidade desse genoma é maior quando é considerada a frequente aneuploidia nas atuais cultivares, uma vez que as células somáticas possuem número anormal de cromossomos (aumento ou diminuição).

## 2.2 IMPORTÂNCIA SÓCIO-ECONÔMICA DA CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar é cultivada em todas as regiões tropicais e subtropicais do mundo, abrangendo cerca de 130 países. Seu cultivo se estende ao norte e ao sul do Equador, seguindo a distribuição das palmeiras - “Palm Tree Line”, ou linhas que delimitam a zona de crescimento das palmeiras e que caracterizam a zona tropical - (BARNES, 1974). É uma planta de metabolismo fotossintético C4, com elevada taxa fotossintética, sendo a cultura mais eficiente na conversão de energia radiante em energia química (TEW; COBILL, 2008). Como produtos derivados dessa matéria-prima podem ser citados: açúcar, etanol, eletricidade, melaço, aguardente, bagaço, levedura, torta de filtro, vinhaça, composto fertilizante, gás carbônico, ácido cítrico, lisina, briquetes, aglomerados MDF, etc. (BNDES/CGEE, 2008).

Seu cultivo tem quase 500 anos de história do Brasil. Portugal aproveitou esse imenso território e transformou-o em uma colônia agroindustrial do açúcar, com grande retorno econômico - nos dois primeiros séculos da colonização, o açúcar brasileiro deu mais divisas ao reino do que o ouro, numa época em que esse mercado figurava como o mais importante das trocas marítimas internacionais (IAA, 1972). A cana-de-açúcar desempenha grande importância para o Brasil, que é o maior produtor mundial dessa matéria-prima, e dos produtos açúcar, etanol e eletricidade. O país é também o maior exportador de açúcar e etanol. O setor canavieiro brasileiro, baseado na biomassa da cana-de-açúcar, tem papel fundamental para o país (CARVALHO, 2003; BNDES/CGEE, 2008; EPE/MME, 2012). Esses autores elencam alguns desses papéis:

- i) Apresenta relevante função social e econômica no emprego da mão-de-obra, formação de renda e divisas;
- ii) É fonte de inúmeros produtos e derivados para alimentação humana e animal, com elevado rendimento em matéria-verde e produz mais calorias metabolizáveis que qualquer outra cultura;
- iii) É estratégico na geração de energia automotiva, combustível de fonte renovável e não poluente em substituição aos fósseis;
- iv) Tem relevante função na cogeração de energia elétrica;
- v) O uso do etanol e a cogeração da eletricidade destacam a biomassa da cana-de-açúcar como o segundo principal item componente na matriz energética do país (15,7% em 2011), superada apenas pelos derivados do petróleo;
- vi) Apresenta elevada contribuição para o equilíbrio ambiental, por possuir alta taxa de sequestro de carbono, reduzindo a emissão de gases de efeito estufa;
- vii) Os produtos finais obtidos da cana têm em suas composições químicas apenas os três elementos C, H e O, revelando que essa biomassa é muito eficiente na utilização de macro e micronutrientes, que são exportados pela cana, e são restituídos e reaproveitados pelo solo, através da incorporação da palha, palmito e uso da vinhaça e da torta de filtro;
- viii) Outro segmento de mercado que pode se destacar, no contexto de matérias-primas ambientalmente sustentáveis, é a álcoolquímica, que substitui derivados de petróleo pelo etanol na produção de polímeros e outros produtos químicos;
- ix) Apresenta elevadíssima eficiência no balanço energético na obtenção de etanol, pois para cada unidade de energia fóssil usada com a biomassa da cana, obtêm-se oito unidades de etanol, enquanto com a biomassa do milho, gera-se apenas uma unidade;

A história da cana-de-açúcar no Brasil é secular e, em diversos momentos, confunde-se com a própria história do país. O Brasil possui vantagens naturais para o seu cultivo, tais como grande disponibilidade de terra arável e condições edafo-climáticas propícias. Conforme Conab (2013), na safra 2012/2013 o país apresentou os seguintes indicadores: cultivou 8,5 milhões de hectares; esmagou 588,9 milhões de toneladas de cana; o rendimento médio foi de 69,4 toneladas de cana por hectare (TCH); foram produzidos 23,6 bilhões de litros de etanol e 38,3 milhões de toneladas de açúcar. Por sua vez, na safra 1975/1976, a produção nacional de cana era de 68,3 milhões de toneladas, volume que gerou apenas 0,6 bilhão de litros de etanol e 5,9 milhões de toneladas de açúcar. Esse aumento da produção em quase quatro décadas reflete não



apenas os esforços de investimento produtivo dos grupos econômicos do setor, mas também significativos esforços de pesquisa, desenvolvimento e inovação nas áreas agrícolas e industriais, que se revelaram fundamentais para o êxito da cultura nesse período. De fato, a inovação desempenhou papel de destaque, especialmente a partir do Proálcool, que possibilitou o uso de biocombustíveis em larga escala (NYKO et al., 2013). Naturalmente, as conquistas e o quadro atual brasileiro do setor canavieiro é reflexo de inovações políticas, institucionais, científicas e tecnológicas implementadas pelos setores público-privado que impulsionaram a produção e a produtividade da cultura e de seus derivados (IVO et al., 2008).

## 2.3 MELHORAMENTO GENÉTICO DA CANA-DE-AÇÚCAR

### 2.3.1 PROGRAMAS DE MELHORAMENTO GENÉTICO

No melhoramento genético da cana-de-açúcar objetiva-se obter clones superiores em rendimento de açúcar. Através de hibridação e sucessivas seleções, dois componentes são fundamentais: a massa do colmo e o conteúdo de açúcar por massa de colmo (LANDELL; BRESSIANI, 2008). Decorrido mais de um século do desenvolvimento dos primeiros híbridos, a obtenção de cultivares com altos rendimentos em açúcar permanece um grande desafio, dada a complexidade do genoma cana (PIPERIDIS et al., 2010).

As atividades de melhoramento genético da cana-de-açúcar se iniciaram com relativo atraso. Até a metade do século XIX acreditava-se que a cana-de-açúcar tinha perdido sua capacidade de reprodução sexual (SANT'ANA, 2011). O brasileiro Gervásio Caetano Peixoto Lima foi o primeiro a assinalar a fertilidade da semente da cana-de-açúcar em 1842, numa tese de doutoramento defendida no Rio de Janeiro/Brasil e arquivada na Biblioteca Nacional (COPERSUCAR, 1983). Na literatura também há relatos desse conhecimento em Barbados em 1858. No entanto, o primeiro cruzamento genético da cana-de-açúcar dirigido no mundo foi realizado pelo melhorista Friedrich Soltweld, da Proefstation Oost Java, Indonésia, em 1887, quando obteve sementes férteis da variedade Loethers quando cruzou com a Glagah. A partir de então, começou a obter êxitos com as variedades batizadas com a sigla POJ (BARNES, 1974; CESNIK; MIOCQUE, 2004). A variedade POJ2878 foi alcunhada “a maravilha de Java”, tais os seus predicados em rendimento cultural, industrial e resistência a moléstias e condições ambientais adversas da época (ANDRADE, 1985; JAMES, 2004).

Machado Jr (2001) apresenta uma relação dos programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar do mundo, com sigla das cultivares, endereço e melhoristas responsáveis. Para

o desenvolvimento de um programa de melhoramento da cultura, são condições necessárias: i) dispor de um Banco de Germoplasma com grande diversidade genética, entre acessos das espécies do gênero *Saccharum*, de espécies correlatas e de híbridos de diversas origens do mundo; ii) geração de variabilidade genética através de hibridação; e iii) seleção de indivíduos superiores. Atualmente existem em atividade aproximadamente 23 programas de melhoramento genético da cultura, distribuídos nos principais centros produtores no mundo (MING et al., 2006). Esses autores apresentam cinco períodos do melhoramento genético da cana-de-açúcar: i) cruzamentos entre as canas nobres (variedades de *S.officinarum*); ii) cruzamentos entre *S.officinarum* x *S. spontaneum* e retrocruzamentos com *S.officinarum* (nobilização da cana, em que todos os cromossomos de *S.officinarum* foram transferidos); iii) cruzamentos entre as cultivares nobilizadas, em que foram obtidos os primeiros híbridos; iv) cruzamentos entre os híbridos, que têm originado as cultivares atuais; e v) cruzamentos para ampliar a base genética. Afirmam ainda que os programas de melhoramento diferem na combinação de parentais usados nas hibridizações, entre espécies básicas do complexo *Saccharum*, híbridos importados de outros locais e clones superiores selecionados no próprio programa de melhoramento. Desde a primeira metade do século passado, cultivares comerciais e clones em fases avançadas de seleção têm predominado como parentais usados nas hibridações, mas para o sucesso de um programa de melhoramento, é muito importante ter um processo/programa de seleção de parentais. Com estudos bem planejados de seleção de parentais, pode-se explorar tanto a capacidade geral de combinação (CGC), como a capacidade específica de combinação (CEC), e assim obter cruzamentos provados (BARBOSA; SILVEIRA, 2010).

O florescimento da cana-de-açúcar é o seu estágio reprodutivo, ou seja, é a possibilidade de ocorrer à reprodução sexual, que é essencial para os programas de melhoramento genético. O processo de florescimento da cana-de-açúcar é bastante sensível às condições ambientais. Isto se aplica à indução floral, à emergência da flecha e à fertilidade do pólen. Entre os fatores que provocam a diferenciação do meristema apical em primórdio floral, destacam-se a maturidade relativa de desenvolvimento da planta, o fotoperíodo (11 h 30 min à 12 h de escuro), a temperatura (mínimas noturnas superiores a 18°C associadas a máximas diurnas inferiores a 32°C), umidade e fertilidade do solo. No entanto, existem meios artificiais que ajudam a modificar o período do florescimento de cada genótipo, tanto antecipando, como retardando, e assim possibilitar a sincronização e realização dos cruzamentos desejados. Tanto “câmara escura”, como “campo de iluminação” são artifícios usados por programas de melhoramento, contribuindo para esse fim (ETHIRAJAN, 1987; MOORE, 1987; BERDING; MOORE, 2001).

Estações de hibridação localizadas em latitudes próximas a 10° são as que mais usufruem no profuso florescimento natural e na produção de cariopses em maior quantidade e melhor qualidade. Em regiões de maiores latitudes, em clima temperado, é necessário usar câmaras artificiais para o controle de temperatura e fotoperíodo, e assim promover a indução do florescimento (BERDING; MOORE, 2001; TEW; COBILL, 2008). O florescimento da cana-de-açúcar é sazonal, ou seja, em dada latitude, ocorre sempre no mesmo período do ano, e com alta consistência para cada clone; no hemisfério sul ocorre a partir de março (equinócio de outono), indo até junho, à medida que aumenta a latitude, a razão de dois dias para cada grau; no hemisfério norte, o modelo é exatamente o de uma imagem no espelho em relação ao sul, iniciando em setembro e estendendo-se até dezembro (MOORE, 1987).

De acordo com Oliveira (2007), em cana-de-açúcar, a seleção é praticada em todas as fases do melhoramento genético, desde a escolha dos genitores, passando pela escolha dos cruzamentos, pela seleção na população de indivíduos oriundos dos cruzamentos realizados e nas etapas subsequentes com a seleção clonal. No entanto, os programas de melhoramento de cana-de-açúcar trabalham num esquema semelhante de seleção recorrente, estratégia que usa o mais rápido possível os novos clones superiores como genitores (BREAUX, 1984; BRESSIANI et al., 2006; LINGLE et al., 2010). A seleção recorrente também é empregada na obtenção de cultivar precoce e de maior teor de sacarose (COX; STRINGER, 2006). Os autores afirmam ser inquestionável a contribuição da seleção recorrente, embora seja praticada de forma quase inconsciente. Tipicamente os programas de melhoramento distribuem por ano milhares de indivíduos heterozigotos – plântulas/*seedlings* -, provenientes de cariopses resultantes de hibridações de genitores previamente selecionados. Na primeira fase de seleção, alguns programas empregam a seleção massal visual, em que os indivíduos são selecionados em cana-planta ou em cana-soca com base em seus valores fenotípicos - este é considerado um critério menos eficiente. Outros programas adotam a seleção em cana-planta das melhores famílias (com maiores valores genotípicos) e o processo segue na cana-soca com a seleção dos melhores indivíduos nas melhores famílias - é considerado o critério mais eficiente. Nas fases seguintes dos dois critérios (seleção de indivíduos ou de famílias), são adotadas seleções clonais por mais duas a três etapas, seguidas de experimentação em diversos ambientes, até a obtenção e liberação de cultivares mais produtivas (KIMBENG; COX, 2003; BARBOSA; SILVEIRA, 2010; OLIVEIRA et al., 2011). De acordo com o ambiente de produção, na seleção de clones superiores também são consideradas as características de tolerância a doenças - pois restringe a eleição de muitos clones -, precocidade, não acamamento, não florescimento, tolerância ao déficit hídrico e tolerância a baixas temperaturas (KIMBENG; COX, 2003; MING et al., 2006).

Os autores afirmam ainda que para se desenvolver uma nova cultivar com alto potencial de rendimento em açúcar e superior ao padrão comercial, são necessários entre 12 e 15 anos.

### 2.3.2 MELHORAMENTO GENÉTICO PARA RESISTÊNCIA A DOENÇAS

Dentre os vários fatores limitantes à produção da cana-de-açúcar, tem destaque a ocorrência e a severidade de doenças, que se constituem em importantes justificativas para a substituição de variedades, devido aos prejuízos causados pelos patógenos, com queda de rendimento agroindustrial da cultura. Em todas as regiões produtoras do mundo, o principal meio de controle dessas doenças é plantar cultivares resistentes ou tolerantes. Historicamente, variedades de cana-de-açúcar cultivadas em uma região foram eliminadas e substituídas por apresentarem problemas de sanidade vegetal, principalmente doenças, uma vez que a planta pode ser hospedeira de dezenas de patógenos, como vírus, fungos e bactérias, entre outros (SANGUINO et al., 1991; TOKESHI, 1997). Tokeshi (1997) afirma também que cana-de-açúcar é afetada mundialmente por mais de uma centena de doenças, mas cerca de uma dezena tem importância econômica numa região. No Brasil, as doenças de maior importância econômica são:

- i) Mosaico (vírus do mosaico da cana-de-açúcar SCMV). Doença introduzida no país em 1920 com as importações dos primeiros híbridos POJ e que causou severas epidemias nesse período. Os principais híbridos atuais apresentam resistência a esta virose (TOKESHI, 1997; CESNIK; MIOCQUE, 2004).
- ii) Raquitismo das Soqueiras (*Leifsonia xyli subsp. xyli*). Quando foi descrita pela primeira vez no país, já estava disseminada por todas as regiões canavieiras (TOKESHI, 1997). Muitos pesquisadores consideram esta doença bacteriana como a mais importante que afeta a cultura (SANGUINO et al., 1991).
- iii) Escaldadura das Folhas (*Xanthomonas albilineans*). É uma doença bacteriana, sendo uma das mais importantes no setor canavieiro (SANGUINO et al., 1991). Tem grande potencial destrutivo, principalmente em variedades suscetíveis. Sua importância tem sido subestimada devido aos erros de sua identificação em campo. Há confusão entre os prejuízos causados por ela com aqueles atribuídos ao Raquitismo das Soqueiras (TOKESHI, 1997).
- iv) Carvão (*Sporisorium scitamineum*). Doença fúngica relatada pela primeira vez na região Sudeste do Brasil em 1946. Até 1984 não tinha sido relatada na região Nordeste. Na região Centro-Sul do Brasil há alta incidência, provocando prejuízos em

variedades suscetíveis (SANGUINO et al., 1991). Sua incidência é baixa nas principais áreas produtoras do Nordeste (CRUZ, 2010).

v) Ferrugem Marrom (*Puccinia melanocephala*). Doença fúngica primeiramente detectada na região Sudeste em 1986 e no ano seguinte no Nordeste do Brasil (CRUZ; BARBOSA, 1996). Encontra-se disseminada em todas as regiões produtoras e causa elevados prejuízos em variedades suscetíveis (SANGUINO et al., 1991; TOKESHI, 1997).

vi) Ferrugem Alaranjada (*Puccinia kuehnii*). Doença fúngica relatada na região Centro-Sul do Brasil em 2009 (BARBASSO et al., 2010) e na região Nordeste em 2011 (CRUZ et al., 2012).

vii) Mancha Amarela (*Mycovellosiella koepkei*). Doença com maior importância nas regiões úmidas onde a cana floresce abundantemente. Predomina na região litorânea chuvosa do Nordeste do Brasil (CRUZ et al. 1984b).

São estimados gastos de US\$ 50 milhões (BARBOSA et. al, 2012) a US\$ 70 milhões (NYKO, 2013) para o desenvolvimento e obtenção de uma cultivar com alto potencial de rendimento em açúcar e superior ao padrão comercial. Historicamente novas doenças eliminam clones em processo de seleção ou cultivares recém-liberadas. Não obstante o esforço para o desenvolvimento de clones e cultivares de cana superiores, a ocorrência de uma nova doença causa grande prejuízo ao programa de melhoramento. Um exemplo de marcante prejuízo de doenças ao melhoramento genético da cana é a ocorrência da doença Carvão na Austrália a partir de 2006, uma vez que 80% de clones em seleção apresentaram suscetibilidade à esta doença em algumas regiões, dificultando avanços de rendimentos (COX; STRINGER, 2007).

### 2.3.3 CONTRIBUIÇÃO DO MELHORAMENTO GENÉTICO

Programas de melhoramento relatam ganhos de rendimento em açúcar entre 1 e 2% ao ano (HEINZ, 1987; BERDING et al., 2004). Na Austrália, entre os anos de 1910 a 1915, o rendimento médio de açúcar era próximo de 4 t ha<sup>-1</sup> e entre 1993 e 1997 passou para 14 t ha<sup>-1</sup> (CHAPMAN, 1996; MOORE, 2005). Hogarth (1976) admite que a metade do ganho de rendimento em açúcar na Austrália é atribuída ao melhoramento genético. Registre-se que na Austrália, a irrigação plena é usada em 60% dos canaviais (CHAPMAN, 1996). Na Flórida/USA, de 1968 a 2002, resultados experimentais indicaram conquista anual de 160 kg de açúcar por hectare, correspondente a 1,6% ao ano (EDMÉ et. al., 2005). Na Colômbia, país em que a cana-de-açúcar é cultivada no regime de irrigação plena, na década de sessenta do

século XX, o rendimento médio era de 90 TCH, passando para 120 TCH na atual década; no mesmo período, o conteúdo de sacarose passou de 10,5% para 12% (VIVEROS et al., 2009). Ulivarri et al. (2009) revelaram que na Argentina, entre o período de 1992 a 2004, o rendimento agrícola foi aumentado em 20 TCH e que não houve melhoria no teor de sacarose da cana. Simmonds (1979), em Barbados, estimou ganho 0,64% ao ano devido ao melhoramento genético, sendo maior em TCH que no conteúdo de açúcar da cana.

Hoffmann et al. (1999), avaliaram a contribuição das cultivares de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. Os autores apontaram ganhos de rendimento em açúcar de 1,5% ao ano a partir de 1945. Barbosa e Silveira (2010) relataram que no início década de setenta (antes do Proálcool) o Brasil produzia, em média, 49 TCH e para cada tonelada de cana eram recuperados 87 kg de açúcares redutores totais (ART); e na década de 90, produziu, em média, 64 TCH e em cada tonelada foram recuperados 140 kg de ART; com base nestes números, verificou-se ganho anual de 2% em recuperação de ART para cada tonelada de cana e 1% para TCH. Estes autores enfatizaram que esses ganhos foram decorrentes do emprego de tecnologias, tanto na área agrícola, como na industrial, e que neste cenário, as cultivares têm reconhecidamente posição de destaque, embora seja difícil quantificar a contribuição de cada fator de produção para o avanço global. Por sua vez, Barbosa et al. (2012) inferiram que no Brasil, de 1970 a 2011, houve incremento anual de 155,7 kg de Açúcares Totais Recuperáveis (ATR) por hectare, correspondente a 4% ao ano, sendo metade creditado ao melhoramento genético.

A esses benefícios do melhoramento genético da cana-de-açúcar para o Brasil, acrescentam-se outros indiretos, mas também significativos com as cultivares melhoradas nas últimas quatro décadas, como: uso de genótipos precoces, que permitiram a antecipação da safra em mais de dois meses no Centro-Sul do país; substituição de cultivares em função do surgimento de novas doenças; uso de genótipos resistentes a pragas e a doenças, eliminando o emprego de agrotóxicos; uso de cultivar tolerante a estresses causados pela seca, geada e florescimento; cultivo de genótipos mais eficientes na utilização de nutrientes e irrigação (BARBOSA et al., 2008; BARBOSA; SILVEIRA, 2010)). Significa afirmar que esses programas de pesquisa apresentaram grande eficiência e eficácia nestes últimos quarenta anos, proporcionando incalculável retorno aos investimentos aplicados pelo Governo e pela iniciativa privada (BARBOSA et al., 2003).

O melhoramento da cultura tem possibilitado constantes incrementos de rentabilidade e lucratividade, gerando riquezas e aumento de divisas ao país. A cultivar melhorada é ponto crucial no sistema produtivo, pois quando manejada adequadamente, possibilita rendimento agroindustrial de, no mínimo, 30% maior em relação às plantadas anteriormente (BARBOSA

et al., 2008). Ocorreu grande contribuição do melhoramento genético para as empresas parceiras da COPERSUCAR entre as safras 1986/1987 e 1990/1991 (FERNANDES; TATIZANA, 1991): as cultivares SP proporcionaram ganho acumulado de 130 milhões de dólares na margem de contribuição em relação às demais colhidas nesse período. Na safra brasileira de 2011/2012, Barbosa et al. (2012) estimaram ganho equivalente a 175 milhões de dólares devido à substituição de cultivares de cana-de-açúcar, ou média de 19,40 US\$ ha<sup>-1</sup>. A esse respeito, merece destaque a seguinte análise econômica encomendada pelo BNDES:

“A diversificação de variedades no canavial é fator de segurança e ativo estratégico para os agentes produtivos; da mesma forma, é salutar para o mercado haver diferentes atores provedores de tecnologia agrícola, incluindo novas variedades de cana; a produtividade da lavoura brasileira de cana-de-açúcar atingiu, em 2007, a marca histórica de 11.200 kg de Açúcares Totais Recuperáveis (ATR) por hectare (ATR/ha), nível quase 130% superior ao verificado em 1975, no início do Programa Nacional do Alcool (Proálcool); essa evolução se deveu, em boa medida, ao desenvolvimento das tecnologias agrícolas de produção, notadamente pela introdução de novas variedades de cana” (NYKO et al., 2013).

Apesar dos grandes benefícios, é muito baixo o gasto das empresas do setor canavieiro brasileiro com as pesquisas na obtenção de cultivares, entre 1 e 6 dólares por hectare, ou o equivalente a 0,3% do custo de produção da cana-de-açúcar (BARBOSA et al., 2012). Apesar do Brasil ser o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, e de ter os menores custos de produção, há pouco investimento público em P&D neste setor, apenas 0,5% dos projetos dos Fundos Setoriais de Ciência e Tecnologia, que são instrumentos de financiamento a projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação no país (CGEE, 2009).

Indubitavelmente, os ganhos econômicos das empresas com a adoção das inovações do melhoramento genético são altamente vantajosos. Souza (2005) faz um exercício que comprova economicamente os ganhos de uma usina hipotética do setor canavieiro com dois milhões de toneladas de cana-de-açúcar numa safra: considera que a substituição de cultivares com média de Pol % cana (PC) de 13,5% por cultivares com média de PC de 14,5% resultaria um lucro superior a R\$ 8 milhões, e ainda enfatiza:

“Ora, se apenas um ponto a mais na Pol % cana possibilitaria para esta usina hipotética ganhos líquidos anuais acima de R\$ 8 milhões, parece claro que o tema variedades de cana apresenta-se como de relevância altíssima”.

Apesar dos avanços proporcionados pelo melhoramento genético da cana-de-açúcar no mundo, as médias de rendimento agrícola comercial ainda são inferiores a quinta parte do potencial máximo teórico da cultura (rendimento potencial), que é de 381 TCH (WACLAWOVSKY et al., 2010).

Convém frisar que, nas últimas décadas, no ganho genético em cana-de-açúcar, houve maior participação do componente massa do colmo por unidade de área (JACKSON, 2005; COX; STRINGER, 2006; BURNQUIST et al., 2010). Jackson (2005) discorre que nas últimas quatro décadas os aumentos de rendimento de açúcar na Austrália foram decorrentes de cultivares mais produtivas em TCH, sem ter melhoria do teor de sacarose. Esse autor afirma também que teoricamente a seleção de clones de cana-de-açúcar visando aumentar o teor de açúcar do colmo é mais eficaz que a seleção de clones para maior rendimento agrícola. Com isso, há uma contradição dos resultados obtidos pelos programas, pois estimativas de herdabilidade são de média a alta magnitude para o caráter teor de açúcar (estimado pelo teor de sólidos solúveis totais - Brix) - valores observados de 0,65 para seleção de indivíduos e 0,90 para seleção de famílias -, e baixa magnitude do caráter massa do colmo - valores abaixo de 0,17 para seleção de indivíduos e 0,90 para seleção de família (SKINNER et al., 1987). Associado a essas discussões, existem afirmações de já ter sido atingido um limite na acumulação de sacarose da cana (JACKSON, 2005; LINGLE et al., 2010). Por sua vez, Dal-Bianco et al. (2012) também discorrem sobre o decréscimo de ganho em rendimento de açúcar nas últimas três décadas em liberações de cultivares RB em São Paulo.

Todos os programas procuram fazer seleção para genótipos locais, buscando aqueles que melhor se adaptem às condições de cultivo da região (BERDING; SKINNER et al., 1987). Por conseguinte, e conforme Burnquist et al. (2010), é necessário desenvolver cultivares apropriadas para cada ambiente de produção, pois a aplicação das estratégias e operacionalização do melhoramento genético da cana-de-açúcar de uma região pode não ter o mesmo resultado em outra.

## 2.4 MELHORAMENTO GENÉTICO DA CANA-DE-AÇÚCAR EM ALAGOAS

### 2.4.1 O AMBIENTE DE PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR DE ALAGOAS

O Estado de Alagoas fica localizado na região Nordeste do Brasil. O cultivo da cana-de-açúcar ocupa de 15 a 20% das terras e é distribuído em 54 municípios do litoral, zona da mata e parte do agreste, entre as latitudes 9°S e 10,2°S e longitudes 35,3°W e 36,2°W (Figura 1). O relevo é formado de 70% dos Tabuleiros Costeiros, 27% de Encostas e 3% de Várzeas. Os solos mais frequentes são “Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico” e “Argissolo Vermelho Amarelo”, que geralmente apresentam baixa fertilidade natural, pouca capacidade de troca de cátions e pequena capacidade de retenção de umidade (EMBRAPA SOLOS, 2012).





Figura 1. Distribuição espacial do setor canaveiro alagoano em 2011. Fonte: (SINDAÇÚCAR, 2012).

O clima dessa região é tropical quente subúmido. Ocorre irregularidade na distribuição da chuva, tanto temporal, como espacial, com duas estações climáticas bem definidas: i) uma chuvosa, de outono a inverno, que geralmente atende as necessidades hídricas da cultura, porém associadas a temperaturas mais baixas, com menor radiação solar; e ii) uma estação seca, de primavera a verão, onde também é frequente a combinação de temperaturas elevadas e maior radiação solar (SOUZA et al., 2004). Em 30 anos, a média da pluviosidade anual foi de 1.764 mm, com mínimo anual de 902 mm e máximo anual de 2.370 mm. A safra, ou a moagem da cana pelas usinas, se estende de setembro a março, período que ocorre apenas 30% dessa precipitação (528 mm, ou média mensal de 75,4 mm). Enquanto isso, no período de abril a agosto, o total da precipitação nesses cinco meses é de 1.236 mm, com média mensal de 247,2 mm (Figura 2). O plantio da cana é feito em dois períodos distintos: i) o plantio de inverno, realizado entre junho a meados de setembro, geralmente no sistema de cultivo sem irrigação (sequeiro); e ii) o plantio de verão, realizado entre meados de setembro até fevereiro, necessitando o uso da irrigação (SINDAÇÚCAR, 2012).

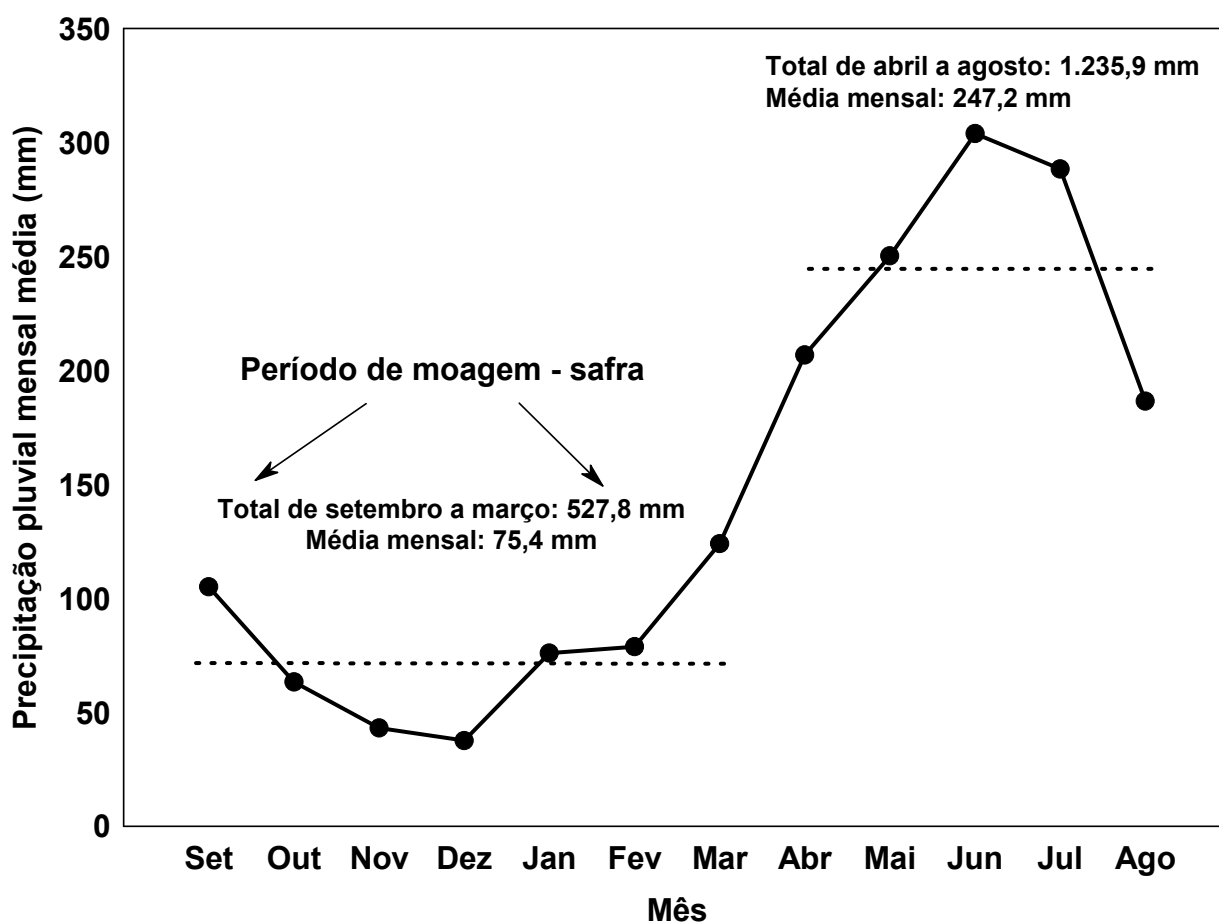


Figura 2. Média mensal da precipitação pluviométrica da região canavieira de Alagoas. Gráfico elaborado pelo autor com base nos dados de Sindaçúcar (2012).

A precipitação pluviométrica é o principal fator limitante da produtividade da cana-de-açúcar na região. Embora em termos dos totais anuais esse suprimento hídrico se enquadre dentro das exigências da cultura, há um excedente no outono-inverno e uma deficiência na primavera-verão, que coincide com a fase de desenvolvimento da cana-de-açúcar e que tem maior exigência hídrica (SOUZA et al., 2004; ALMEIDA et al., 2008). Essa característica agroclimática contribui muito para as baixas produtividades da cana-de-açúcar alcançadas em Alagoas, quando comparada com a região Centro-Sul do Brasil (TEODORO et al., 2009). Segundo Sindaçúcar (2012), para minimizar as frequentes perdas de rendimento e manter um nível de produtividade da cana-de-açúcar capaz de competir com outras regiões, o setor sucroalcooleiro de Alagoas realizou grande esforço na irrigação da cultura, com construções de barragens para armazenamento de água e aquisição de potentes sistemas de irrigação, e na safra 08/09 os indicadores dessa prática eram: em 331.500 ha cultivados pelas usinas foram irrigados 197.520 ha, sendo 62,1% do tipo irrigação de salvação ou sobrevivência (uma lâmina de 40 a

60 mm de água), 33,8% de irrigação complementar (quatro a cinco lâminas de 40 a 60 mm de água cada), e 4,1% de irrigação plena (sem déficit hídrico da cultura).

Em 1970, a área cultivada com cana-de-açúcar em Alagoas era próxima de 175 mil hectares. Quase dobrou na safra 1975/1976. Atingiu 450 mil hectares na safra 1985/1986, estabilizando nesse patamar até as safras mais recentes (BARBOSA et al., 2008). Na safra 2010/2011 foram cultivados 452 mil hectares, sendo 71% em terras de propriedade de 24 usinas e 29% em terras de 7.650 fornecedores de cana, com moagem de 29,1 milhões de toneladas de cana (SINDAÇÚCAR, 2012). Na safra 1975/1976, o rendimento agrícola médio alagoano foi de 36,5 TCH e para cada tonelada de cana eram recuperados 103,8 kg de ART, perfazendo 3,8 t ART ha<sup>-1</sup> (3,8 TARTH); nesse período, era baixo o nível de adoção de tecnologias nas diversas áreas, caracterizado por pouco uso de insumos, e 93% da área era ocupada pelas cultivares Co331 e CB45-3. Os rendimentos médios da safra 2010/2011 foram de 66,0 TCH e em cada tonelada de cana foram recuperados 135,2 kg de ART, resultando 8,9 TARTH. Ocorreu grande mudança na adoção de tecnologias nas diversas áreas, destacando-se o cultivo de modernas cultivares das siglas RB e SP, melhora no manejo da cultura e maior eficiência na recuperação industrial dos açúcares da cana (BARBOSA et al., 2008; SINDAÇÚCAR, 2012).

## 2.4.2 A ECONOMIA CANAVIEIRA ALAGOANA E O CULTIVO DE VARIEDADES

### 2.4.2.1 DO ENGENHO BANGUÊ À USINA – DOMÍNIO DA CRIOLA E CAIANA

Historicamente a cana-de-açúcar sempre teve destaque no cenário social e econômico brasileiro. A produção de açúcar no Nordeste brasileiro surgiu por uma decisão do Estado português, centro do poder político colonial, que estabelecia regras básicas, doava terra, controlava as exportações, estimulava o tráfico negreiro e mantinha a escravidão. A Metrópole proibia todas as atividades que concorressem com a produção do açúcar, em sintonia e estreita colaboração com os senhores de engenho e os comerciantes instalados nas cidades do litoral (CARVALHO, 2000).

A evolução da produção de açúcar no espaço do território alagoano, acontecido em mais de quatro séculos, é relatada na obra do emérito pesquisador pernambucano Manuel Correia de Andrade:

“O povoamento desse território iniciou a partir de 1570 com o cultivo da cana e durante um período de seis décadas inúmeros engenhos banguês produtores de açúcar foram instalados à margem dos rios e próximo ao litoral. Eram 14 engenhos em 1630, passou para 69 em 1774, elevou-se para 180 em 1802, saltou para 316 em 1849 e subiu para 964 em 1905. Esses engenhos ora eram

movidos à água, ora à tração animal, muitos produziam açúcar, e as chamadas “engenhocas” produziam rapadura. Os mais avançados produziam açúcar mascavo, que transformava parte da produção em açúcar somenos (embranquecido), que obtinha um melhor preço” (ANDRADE, 2010).

A importância da indústria açucareira para a formação e desenvolvimento do Estado de Alagoas é destacada pelo também emérito historiador alagoano Manuel Diegues Júnior:

“A história dos engenhos de açúcar nas Alagoas quase se confunde com a história do hoje Estado, antiga Capitania e Província. A evolução de um, ditou e condicionou a do outro; acompanha a história do Estado, o desenvolvimento da cultura da cana e da indústria do açúcar. As dificuldades que sofre o açúcar refletem-se na história regional. Os seus dias de esplendor são os dias áureos da terra – vilas, comarca, capitania, província ou Estado” (DIEGUES JÚNIOR, 2006).

Os canaviais ocuparam inicialmente os férteis massapês dos vales úmidos (várzeas) dos rios Manguaba, Camaragibe, Santo Antônio, Mundaú, Paraíba, São Miguel e Coruripe. Cristóvão Lins explorou a costa do cabo de Santo Agostinho até a foz do rio São Francisco, implantando no atual Estado de Alagoas as primeiras fábricas de açúcar daquele local. Em torno de sua moradia cresceram os primeiros canaviais (IAA, 1972).

Andrade (1985) relata que os processos técnicos na área agrícola e industrial eram rudimentares. No tocante ao uso de variedades, durante quase três séculos predominou o cultivo da Crioula, resultante de uma hibridação natural entre *S. officinarum* e *S. barberi* (LANDELL; BRESSIANI, 2008). Esta variedade, trazida do oriente pelos colonizadores e que se adaptou bem às condições da região, apresenta uma coloração da casca do colmo branca amarela, colmo delgado, alto perfilhamento, caldo muito rico em açúcar e maturação tardia. Também era chamada de Cana da Terra. Porém, no início do século XX, fora identificada como sendo a variedade Puri, originária da Índia. Mas, as pragas surgidas e o sistema de plantio contribuíram para que ela entrasse em processo de degenerescência, com queda na produtividade agrícola e grande prejuízo para os agricultores (ANDRADE, 1985).

A variedade Crioula foi substituída no início do século XIX pela Caiana (*S. officinarum*), também trazida do oriente, e introduzida a partir de Caiena (capital da Guiana Francesa). Dominou o cultivo por sete décadas. Dotada de colmo extremamente grosso, maturação precoce e rica em açúcar, possibilitou a elevação dos rendimentos agrícolas e fabris da época, mas foi fortemente afetada pela doença Gomose, com acentuada queda de produtividade (ANDRADE, 1985). O autor disse ainda que a partir de 1858 outras variedades de cana foram introduzidas em Alagoas: Batávia ou Cristalina, Férrea, Verde de Penang, Rosa de Diard, Salangor, Tibbu de Bittang, Lusier, Kavangire, Bois Rouger, Port Mackay, Demerara 64, Demerara 625 e a Barbados 147.

No fim do século XIX a situação da agroindústria açucareira era das mais precárias. O açúcar brasileiro, de inferior qualidade em relação ao das Antilhas (financiado por holandeses e judeus expulsos do Brasil) tinha dificuldade de disputar o mercado externo e não havia um mercado interno capaz de absorver a produção de açúcar dos engenhos banguês. Alguns engenhos, inclusive de Alagoas, implantaram turbinas para produzir açúcar cristalizado. Esses senhores de engenho, progressistas, podem ser considerados os precursores das usinas alagoanas. Para modernizar a produção e viabilizar a exportação do açúcar, o Governo Imperial decide, em 1875, pela transformação dos antigos e decadentes engenhos banguês em unidades industriais avançadas - os engenhos centrais - que eram organizações destinadas a recolher e industrializar a produção agrícola de vários feudos, que lhes ficavam contíguos ou em parceria. Havia as vantagens de redução dos custos, por ter uma só administração, e aumento do rendimento industrial e da qualidade do produto, dadas às instalações mais adequadas. Por outro lado, passou a haver instabilidade no fornecimento da cana pelos senhores de engenho, que não se interessavam em serem meros fornecedores da matéria-prima (LOUREIRO, 1970; ANDRADE, 2010).

Esses autores reforçam que os engenhos centrais, por não poderem contar com o fornecimento regular de cana a preços que tornassem o açúcar competitivo, não vingaram, e em seus lugares surgiram unidades industriais integradas – as usinas – que plantavam suas próprias canas e compravam de fornecedores parte da matéria-prima para a fabricação do açúcar, com equipamentos modernos importados da Europa. A primeira usina alagoana, denominada Brasileiro, foi inaugurada em 1892, seguida das Usinas Central Leão, Serra Grande e Sinimbu em 1894, e Apolinário e Uruba, em 1902. Foram elas pioneiras na modernização da produção açucareira alagoana, introduzindo inovações como a eletricidade - a Central Leão foi a primeira usina brasileira a ser eletrificada -, irrigação, fertirrigação e seleção de mudas de variedades para o plantio. É interessante salientar que a Usina Serra Grande foi ligada a Usina Apolinário por uma estrada de ferro, e diversificou suas atividades econômicas, e em 1927 passou a produzir álcool carburante para substituição da gasolina, com a denominação de USGA, que durante muitos anos foi comercializado em cidades importantes da região nordestina. A Figura 3 ilustra um ambiente de produção de açúcar em engenho banguê, evoluindo para uma usina do início do século XX (STUPIELLO, 2000).

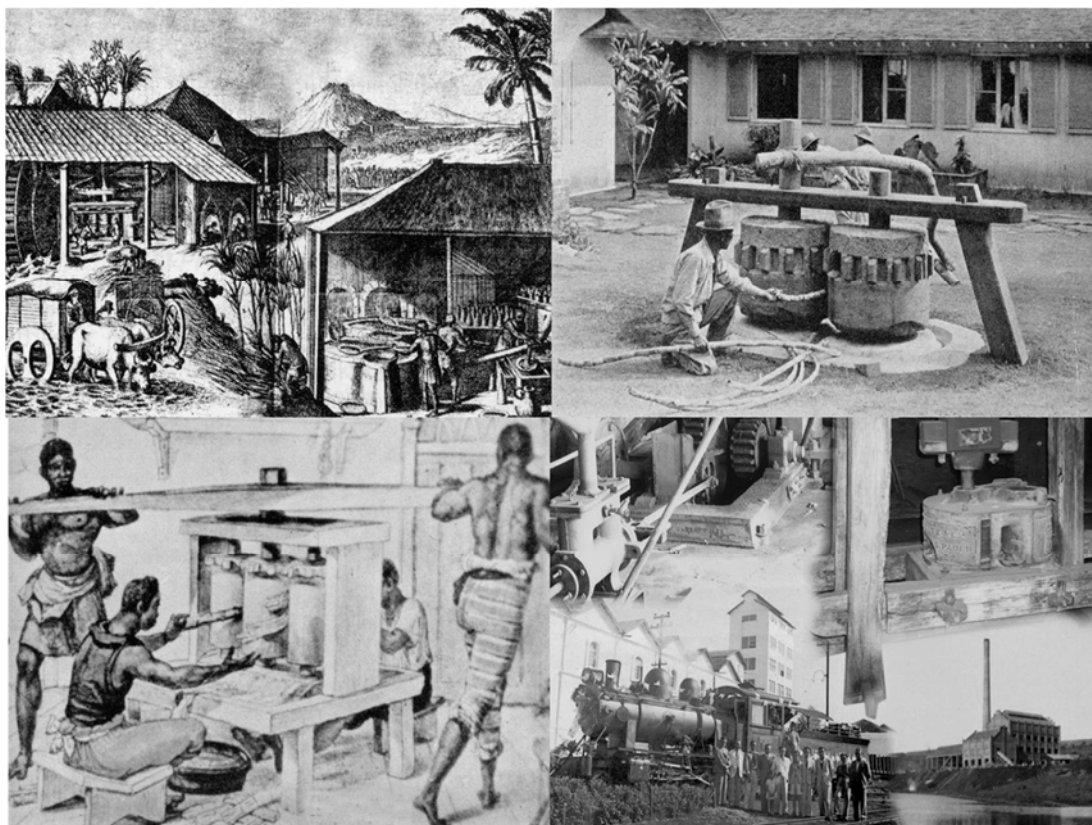


Figura 3. Evolução do processamento da cana-de-açúcar - do engenho banguê à usina. Fonte: (STUPIELLO, 2000).

#### 2.4.2.2 IMPORTAÇÃO DOS PRIMEIROS HÍBRIDOS - INÍCIO DO MELHORAMENTO GENÉTICO EM ALAGOAS

Na safra 1922/1923, ano em que a produção de açúcar das usinas (demerara e cristal) superou a dos engenhos banguês (mascavo) a produtividade agrícola era de apenas 20 TCH, apesar dos esforços em melhorias de alguns senhores de engenho, usineiros e do Governo Federal. Nessa época, pequenas usinas foram instaladas e produziram açúcar por um período curto, sendo desativadas ou absolvidas por outras vizinhas de maior estrutura (CARVALHO, 2000; ANDRADE, 2010).

Até o final do século XIX, a queda da produtividade e da produção era aceita por alguns produtores como um processo natural contra o qual não podiam lutar. Entretanto, os mais inovadores importavam materiais genéticos de outras regiões que tinham tecnologias mais avançadas. Andrade (1985) registra o trabalho pioneiro de hibridação da cana-de-açúcar no Brasil em 1892 pelo alagoano Manuel Cavalcanti de Albuquerque, que obteve no Engenho Cachoeirinha do município pernambucano de Escada, as variedades Manteiga e Manoel

Cavalcanti, através de autofecundação da variedade Caiana e que alcançaram grande aceitação naquele Estado. No entanto, com o surto da Gomose, as variedades que substituíram a Caiana, foram a Roxa, Rosa, Salongor, Louisier, Ubá e a Cristalina. Convém realçar que na época, as canas eram caracterizadas e classificadas praticamente pelo colorido e marcas da casca do colmo (canas brancas, amarelas, esverdeadas, roxas ou avermelhadas; canas lisas, riscadas ou listradas).

A Usina Brasileiro foi uma das inovadoras na tentativa de substituição de variedades de cana-de-açúcar. Em 1913, a empresa importou de Barbados inúmeros *seedlings* de cruzamentos realizados em 1912, que tinham a abreviatura BA, utilizada inclusive nas canas BA6032 e BA11569, que designava uma nova série de *seedlings* de Barbados, cujos números se elevam a milhares (SANT'ANA, 2011).

Na década de vinte do século XX, outras variedades de cana foram introduzidas em Alagoas, através de São Paulo, com destaque para os primeiros híbridos javaneses da sigla POJ. No entanto, a POJ36 trazida de Tucuman-Argentina para o Brasil em 1920, causou o aparecimento de uma nova doença – o Mosaico, a qual anteriormente não existia e as variedades nobres em cultivo eram suscetíveis, provocando queda da produção de 62% de açúcar e 67% de álcool. Nessa época o Brasil importava rotineiramente variedades de outros países e não havia quarentenário, nem controle fitossanitário. Nas duas décadas seguintes, ocorreram novas importações de híbridos da sigla POJ, da sigla Co (Estação de Pesquisa de Coimbatore, Índia) e da sigla CP (Estação de Pesquisa de Canal Point, na Flórida-USA). É necessário observar que alguns dessas variedades resistentes ao Mosaico contribuíram para o soerguimento da agroindústria açucareira, tendo destaque POJ2714, POJ2727, POJ2878, Co281, Co290, Co331, Co419, Co421, CP27-139 e CP28-19. No entanto, as variedades POJ36 e POJ213 foram muito afetadas pelo Carvão nos canaviais paulistas (CESNIK; MIOCQUE, 2004).

De acordo com Andrade (1985), no período compreendido entre 1930 a 1960, prevaleceram nos canaviais de Alagoas o cultivo das variedades estrangeiras POJ2714, POJ2878, Co290, Co331, Co419 e Co421. As Usinas Central Leão, Brasileiro, Serra Grande e Sinimbu sempre se preocuparam com o problema de variedades de cana, fazendo importação, testagem em campo e distribuição a seus fornecedores. Em 1930, o engenheiro agrônomo e Professor da Escola Agrícola (Aprendizado) de Satuba, Álvaro Barcelos Fagundes, fez cruzamentos genéticos de variedades de cana e as plântulas obtidas foram cultivadas no campo da Usina Central Leão, mas houve perda dos resultados, pela falta de um especialista para cuidar dos trabalhos de melhoramento.

No Brasil, o marco pioneiro da experimentação e melhoramento genético da cana-de-açúcar se deve ao Ministério da Agricultura: i) no Rio de Janeiro, com a criação da Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Campos dos Goitacazes, em 1910; e ii) em Pernambuco, com a implementação das Estações Experimentais de Cana-de-açúcar de Escada, em 1911 e Curado, em 1933. Nos primeiros anos de pesquisa, essas Estações contribuíram com resultados experimentais sobre competição de variedades importadas, espaçamento, densidade de plantio, adubação, entre outros (ANDRADE, 1985; RODRIGUES, 1987). A Estação pernambucana de Escada produziu variedades da sigla EB, mas teve vida efêmera. Por sua vez, a Estação de Curado contribuiu inicialmente com as variedades PB (Pernambuco Brasil), passando posteriormente para IANE (Instituto Agrônomo do Nordeste), que obteve variedades de destaque como a IANE 55-33 (ANDRADE, 1985). Na década de trinta, a Estação de Campos dos Goitacazes ganhou grande impulso com os trabalhos do pesquisador Frederico de Menezes Veiga, cuja atividade em melhoramento resultou nas variedades celebrizadas pelo prefixo CB (Campos Brasil), que durante décadas foram cultivadas nas diversas regiões do Brasil e até mesmo no exterior. Sem dúvidas, pela qualidade da contribuição à agroindústria açucareira, esse fato deu prestígio internacional à pesquisa científica desenvolvida no Brasil (RODRIGUES, 1987; CESNIK; MIOCQUE, 2004). As duas cultivares do grupo CB mais importantes para o Brasil foram: CB41-76, que ocupou a metade dos canaviais paulistas em 1979 (GHELLER, 1996) e CB45-3, que em 1976 era a mais plantada do Brasil, com 28,48% dos canaviais (PLANALSUCAR, 1977a; BARBOSA et al., 2012), e que permaneceu em primeiro lugar até 1990, com seus plantios concentrado na região Nordeste e nos Estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais (BRAGA JR., 2011). As cultivares CB que ocuparam áreas expressivas nos canaviais alagoanos foram: CB40-13, CB41-42, CB41-76 e CB45-3 (ANDRADE, 1985). De 1965 a 1995, a CB45-3 teve elevada área plantada, com grande contribuição para a agroindústria açucareira alagoana (ANDRADE, 1985; BARBOSA et al., 2008).

Entre 1933/1934 foi iniciado o programa de melhoramento genético da cana-de-açúcar do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), da Secretaria de Agricultura de São Paulo, que contribuiu com a geração de importantes genótipos da sigla IAC. Nas condições de Alagoas, os mais importantes desta sigla foram IAC51/205 e IAC52/150, mas não avançaram nos cultivos por apresentarem altos níveis de florescimento e não toleravam à seca, que ocorre comumente em Alagoas (ANDRADE, 1985).

O ano de 1930 fora muito difícil para o Brasil e para toda a economia mundial atingida pela grande crise iniciada na Bolsa de Nova York, que inclusive motivou a queda do Governo



brasileiro, quebra e fechamento de indústrias, o que gerou elevado desempregos no setor açucareiro. Em 1933, o Governo Federal criou o Instituto do Açúcar e do Alcool – IAA (CARVALHO, 2000; ANDRADE, 2010), com as seguintes missões: i) estabelecimento de cotas de produção de fornecedores de cana e de usinas por Estado da federação; ii) estabelecimento de regras de exportação; iii) administração de preço para a cana, o açúcar e o álcool; e iv) regulamentar a concessão do subsídio, transporte, manuseio e armazenamento do açúcar, entre outras medidas intervencionistas. Os autores afirmaram ainda: em 1935 havia em operação 22.261 engenhos produzindo açúcar no Brasil, dos quais 587 eram alagoanos (2,7%); o número de usinas no Brasil nesse ano era de 296, situando-se 227 no Nordeste (76,7%) e 23 em Alagoas (7,8%). A partir de então, o Estado de São Paulo deixa de ser o principal importador do açúcar nordestino e passa com ele a competir.

#### 2.4.2.3 ORIGEM DAS CULTIVARES RB – EECOA E PLANALSUCAR

Em 1966, o IAA introduziu no Brasil a variedade argentina NA56-79. Obtida através da autofecundação da Co419, se destacava pela precocidade, alto teor de sacarose e alto rendimento agrícola (IAA, 1972). Essa variedade durante a década de oitenta ocupou o primeiro lugar em área cultivada na região Centro-Sul do Brasil. Em 1983 a NA56-79 figurava com 47% da área cultivada em São Paulo, tendo grande contribuição para a elevação dos ganhos em rendimento de açúcar do Brasil (GHELLER, 1996). No final da década de oitenta foi eliminada dos plantios, pela suscetibilidade ao Carvão (TOKESHI, 1997). Por ser uma variedade que não tolera deficiências hídricas, apresentou pequeno percentual de área cultivada em Alagoas - atingiu, no máximo, 2,5% da área na safra 1990/1991 (BARBOSA et al., 2008).

Também em 1966, o IAA promoveu a visita ao Brasil do pesquisador americano Albert J. Mangelsdorf, da Hawaiian Sugar Planter's Association. Durante seis semanas ele conheceu os principais centros produtores de cana do país (IAA, 1972). Em seu relatório, apresentou detalhadamente os requisitos básicos e procedimentos para a implantação de um programa nacional de melhoramento genético da cana-de-açúcar. Além da formação de uma equipe competente de pesquisadores e estreita colaboração entre o programa de melhoramento e a indústria açucareira, o ilustre consultor elencou em seu relatório os seguintes tópicos:

- “i) Instalar uma estação de floração e cruzamento situada em área favorável ao abundante florescimento e à produção de pólen fértil; ii) dispor nesta Estação de ampla coleção de variedades com os melhores genitores de diversas origens do mundo para os cruzamentos; iii) utilizar técnica de hibridação que aproveite eficientemente durante um curto período as panículas das canas disponíveis; iv) adotar técnica de propagação que eleve ao máximo à germinação das

sementes e reduza ao mínimo a mortalidade das mudas jovens das plântulas de cana; v) montar uma estação central em cada zona canavieira de maior produção e uma rede de subestações de testagem preliminar, representativas das condições ecológicas, sob as quais se desenvolverá a planta; e vi) realizar testes finais adequados nas terras das usinas, visando assegurar a superioridade da nova cultivar sobre a variedade padrão utilizada na região” (MANGELSDORF, 1966).

#### 2.4.2.4 A EECAA

Loureiro (1970) em suas notas e comentários, diz que fazer indústria de açúcar sem experimentação local é o mesmo que navegar sem bússola ou pilotar sem sextante. Dado o volume de produção de açúcar de Alagoas na metade do século XX, lhes parecia esdrúxulo não haver até então, uma Estação Experimental que obtivesse uma cana apropriada ao meio, rica em açúcar, desejado vigor vegetativo e que fosse longa nas socarias. O Governo Federal e a classe produtora local reconheceram essa necessidade e criaram em 13 de maio de 1966 a Estação Experimental da Cana-de-açúcar de Alagoas – EECAA, através de um convênio entre o Instituto do Açúcar e do Alcool e o Sindicato da Indústria do Açúcar e do Alcool no Estado de Alagoas (LOUREIRO, 1970; EECAA, 1971; SANT’ANA, 2011). Solidificava, assim, uma nova mentalidade em busca do aprimoramento agrícola e industrial da cana-de-açúcar em Alagoas (OITICICA, 1994; SANT’ANA, 2011). Coube ao Engenheiro Agrônomo e empresário do setor Jarbas Elias da Rosa Oiticica a incumbência da direção dessa base de pesquisa. Formou uma equipe técnica local e incorporou renomados especialistas estrangeiros em cana-de-açúcar para transmitir seus conhecimentos aos técnicos brasileiros, dos quais são citados os americanos Peter Fritzerald (mecanização agrícola), Chester Wismer (fitopatologista), Willian Marvin (irrigação), Morton Rotenberg (fitotecnista) e o japonês naturalizado americano Rokuro Urata - geneticista do Hawaii e criador de várias cultivares da sigla H (OITICICA, 1994).

Em menos de cinco anos esse órgão apresentava resultados altamente significativos para o setor canavieiro nacional, como a modernização da mecanização agrícola e industrial, controle biológico de pragas, primeiro centro de processamento de dados (CPD), estabelecimento de parâmetros para pagamento da cana pelo teor de sacarose, dentre outros. Mas, indubitavelmente, coube ao melhoramento genético a sua maior contribuição para Alagoas e para o Brasil, através da formação do primeiro Banco de Germoplasma da cana-de-açúcar nacional, composto por variedades originárias de diversos programas mundiais – era criada em 1967 a Estação de Floração e Cruzamento Serra do Ouro, em Murici – Alagoas. Em 1971 esta Estação passou a ser gerenciada pelo PLANALSUCAR, órgão criado pelo IAA,

sendo ponto de partida para a obtenção das cariopses das variedades RB (República do Brasil), sigla registrada no Germplasm Committee of International Society of Sugar Cane Technologists - ISSCT (PLANALSUCAR, 1977b; OITICICA, 1994).

Algumas informações das atividades preliminares dessa Estação, que antecederam o programa de obtenção de cultivares RB são apresentadas por EECAA (1971): nos anos 1967 e 1968 foram coletadas panículas contendo sementes originárias de polinização livre; dos *seedlings* da série 67, foram selecionados quatro clones (AL67-39, AL67-84, AL67-108 e AL67-128); esses clones, quando transformados em cultivares receberiam a denominação ALB (Alagoas Brasil); em 1970, o Banco de Germoplasma da Cana-de-açúcar da Serra do Ouro continha 220 acessos de diversas origens do mundo, tendo abundante florescimento, o que permitiu a realização de 75 cruzamentos, com produção local de 35.618 plântulas e fornecimento de sementes para outras regiões do Brasil.

#### 2.4.2.5 O PLANALSUCAR

Na safra 1970/1971, o Brasil moeu 57 milhões de toneladas de cana, com rendimento médio de 50 toneladas de cana por hectare, 90 kg de açúcar por tonelada de cana, resultando em 4,5 toneladas de açúcar por hectare. Alicerçados nas recomendações de Albert J. Mangelsdorf, os engenheiros agrônomos Gilberto Miller Azzi, Morton Rotenberg, Antônio Maria Cardoso Rocha e Sílvio Rugai propuseram um projeto ao Instituto do Açúcar e do Alcool, em 1971, para a criação do Programa Nacional de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar - PLANALSUCAR, e admitiram, na condição mais pessimista, a possibilidade da indústria açucareira se beneficiar de um aumento de 10% nas rentabilidades no início da adoção das primeiras variedades RB. O custo do programa, quando totalmente implantado, representaria 0,15% do valor bruto da produção. Seria a criação de um aparato de pesquisa agroindustrial distribuído pelos Estados produtores de cana-de-açúcar. Admitia-se que a maior parte dos benefícios seria obtida com os primeiros resultados do Programa, e que seria esperado um incremento anual sempre superior a 3%. Tal aumento, na época representaria ganho anual de mais de 16 milhões de dólares (IAA, 1972).

Na primeira etapa desse programa era previsto que os cruzamentos genéticos seriam realizados na Estação de Floração e Cruzamento Serra do Ouro, em Murici-Alagoas, que forneceria sementes para dois grandes centros de pesquisa – um em Rio Largo, Alagoas, nas instalações da EECAA (Coordenadoria Norte-Nordeste) e outro em Araras, São Paulo (Coordenadoria Centro-Sul). O programa seria implantado progressivamente, através de

Coordenadorias Regionais nos Estados de Pernambuco, Rio de Janeiro e Minas Gerais e Subestações Regionais nos Estados do Paraná, Bahia, Sergipe e Santa Catarina (AZZI, 1971). Constituído em 29 de julho de 1971 pelo Instituto do Açúcar e do Alcool e homologado pelo Ministério da Indústria e Comércio em 31 de agosto de 1971, o PLANALSUCAR em 1972 produziu 735.546 plântulas, das quais 383.475 foram distribuídas em Alagoas e 352.071 em São Paulo (PLANALSUCAR, 1972).

Conforme Planalsucar (1972), na safra 1971/1972 os canaviais alagoanos eram formados em sua maioria pelas variedades Co331 (65,6%) e CB45-3 (18,9%). Oriundas de cruzamentos realizados na Serra do Ouro em 1970 pela EECOA, as primeiras variedades da sigla RB foram liberadas pelo PLANALSUCAR em 1977 em Alagoas - RB70141 e RB70194 (PLANALSUCAR, 1977b), e apresentaram 15% de área cultivada na safra 1980/1981 (BARBOSA et al., 2008).

Mas foi uma semente botânica dos cruzamentos realizados na Serra do Ouro em 1972 a primeira grande contribuição do programa de variedades RB – a cultivar RB72454. A cariópse que deu origem à RB72454 foi semeada em 1972 pela equipe do PLANALSUCAR de Rio Largo, Alagoas. Após ser selecionada por duas etapas sucessivas, a RB72454 foi distribuída para as diversas Estações Experimentais do PLANALSUCAR para avaliações regionais e liberação como cultivar ao setor canavieiro brasileiro (PLANALSUCAR, 1987; PLANALSUCAR, 1988). A RB72454, pelas suas características de boas produtividades agroindustriais e ampla adaptabilidade, foi durante diversos anos a mais plantada no Brasil, uma vez que em 1995 ocupou 20% da área cultivada com cana, assumiu a primeira posição e permaneceu nesse nível até 2005 (BRAGA JR. et al., 2011; BARBOSA et al., 2012). Também alcançou significativa área plantada em Alagoas entre 1990 a 2005, porém devido a sua sensibilidade à seca que ocorre com frequência na região, seu plantio pelos produtores foi reduzido (BARBOSA et al. 2008). Ademais, a RB72454 foi a cultivar de maior potencial produtivo dentre todas aquelas que foram desenvolvidas pelo PLANALSUCAR, e por isso o melhoramento genético adotou a estratégia de obter clones com o seu potencial de conteúdo em sacarose e dotados de maior rendimento agrícola, com tolerância à seca, o que resultou em 23 cultivares descendentes em primeira geração da RB72454, que foram liberados ao produtor pela RIDESA (DAROS et al., 2010; BARBOSA et al. 2012).

Além do mais, em 1973 o PLANALSUCAR importou a variedade Co997 (precoce e de alto conteúdo em sacarose). Teve boa participação dos plantios de Alagoas entre 1990 a 2005, atingindo até 20% da área colhida (BARBOSA et al., 2008). Esta cultivar era muito exigente

em água e nutrientes para atingir boa produtividade agrícola. Seu plantio foi praticamente eliminado devido à suscetibilidade ao Raquitismo das Soqueiras (CRUZ, 2010).

#### 2.4.2.6 A INTRODUÇÃO DE CULTIVARES SP EM ALAGOAS

Em 1969 a Cooperativa Central dos Produtores de Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo – COPERSUCAR – criou o seu programa de melhoramento genético da cana-de-açúcar, também alicerçada nas recomendações técnicas do pesquisador americano Albert J. Mangelsdorf. A COPERSUCAR gerou importantes variedades da sigla SP (São Paulo), igualmente registrada na ISSCT. Com a sede das pesquisas em Piracicaba, SP, Banco de Germoplasma e Estação de Floração e Cruzamento em Camamu, BA, e Estações Regionais de seleção e experimentação em municípios paulistas, na safra 82/83 as variedades SP começaram a ter representatividade em São Paulo e dez anos depois ocuparam mais da metade dos canaviais do Brasil (COPERSUCAR, 1983; BRAGA JR.; SORDI, 1996). O programa da COPERSUCAR encerrou suas atividades em 2003, e desde 2004 o seu acervo tecnológico (Banco de Germoplasma e cultivares) passou a ser administrado pelo Centro de Tecnologia Canavieira – CTC, com a participação de mais empresas associadas, e que desenvolve as cultivares da sigla CTC (LANDELL; BRESSIANI, 2008; BARBOSA et al., 2012).

Motivada por esse avanço do cultivo das variedades SP nas áreas canavieiras de São Paulo, a Cooperativa Regional dos Produtores do Açúcar e Alcool de Alagoas (CRPAAA) estabeleceu, em 1983, uma parceria com a COPERSUCAR. Através do Núcleo de Absorção e Transferência de Tecnologias (NATT) iniciou um programa de importação anual de clones e variedades SP, bem como treinamento de técnicos do Estado (CARVALHO, 2000). A COPERSUCAR cedia às variedades e clones SP promissores e a equipe do NATT testava os genótipos por mais um período de três a seis anos, validava e recomendava para o cultivo nas diversas condições de clima e solo das usinas cooperadas. Nos cinco primeiros anos dessa parceria, a COPERSUCAR, em conjunto com a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queirós-ESALQ/USP, em Piracicaba, SP, ministrou Cursos de Especialização em Cana-de-açúcar a Engenheiros Agrônomos selecionados pelo NATT, e que passaram a ser contratados para trabalhar em usinas cooperadas de Alagoas (CELESTINO et al., 1986; NATT, 1988; COPERSUCAR, 1993). Os resultados alcançados dessa parceria foram muito relevantes para a economia canavieira alagoana, uma vez que 20 anos após houve crescimento do cultivo de variedades SP da ordem de 3% ao ano, atingindo um máximo de 60% da área com cana na safra 2003/2004, substituindo as antigas variedades Co331 e CB45-3. As cultivares SP de maior

importância para Alagoas foram: RB70-1143, SP71-1406, SP71-6949, SP79-1011, SP78-4764 e SP81-3250 (NATT, 1993; BARBOSA et al., 2008; BRAGA JR. et al., 2011).

#### 2.4.2.7 PROBLEMAS DE SANIDADE VEGETAL

CRUZ et al. (1984a) comenta que nas décadas de setenta e oitenta do século XX as doenças de cana-de-açúcar de maior importância econômica para Alagoas e que provocaram danos com redução do plantio de cultivares suscetíveis ou intermediárias foram: Mancha Amarela (RB70141); Raquitismo das Soqueiras (Co331, Co997, CB45-3 e NA56-79); e Escaldadura das Folhas (NA56-79, RB70141 e RB72454). Ainda conforme o autor, a doença Carvão, apesar de ser responsável por danos econômicos em muitas regiões canavieiras do mundo, não ocorria em Alagoas nesse período.

Responsável por danos econômicos de grande valor em muitas regiões canavieiras do mundo, a doença Ferrugem Marrom, que foi introduzida em Alagoas em 1987 (CRUZ e BARBOSA, 1996), afetou grande parte das cultivares nas safras seguintes, bem como clones promissores em testes dos programas de melhoramento, com redução significativa de seus rendimentos. Cruz (2010) discorre que nas duas últimas décadas a Ferrugem Marrom causou eliminação de plantio das cultivares SP70-1143, SP71-1406 e RB83102, além de eliminar diversos clones em processo de seleção.

A Ferrugem Alaranjada teve sua ocorrência relatada pela primeira vez em Alagoas em 2011 por Cruz et al. (2012). Esta doença afetou poucos genótipos comerciais. Entre esses, figuram a RB72454, que já tinha reduzida área plantada no Estado e SP81-3250, que ainda ocupa área significativa, mas tem havido redução dos plantios. No entanto, os autores observam que esse patógeno eliminou diversos clones RB em fase de seleção, causando grande prejuízo ao programa de melhoramento.

#### 2.4.2.8 A FASE RIDESA E CONSOLIDAÇÃO DAS CULTIVARES RB

Em 1990 ocorreu a extinção do IAA e, conseqüentemente, do PLANALSUCAR. A incorporação de unidades do extinto PLANALSUCAR por Universidades Federais abriu novas perspectivas, tanto para os pesquisadores, como para o setor canavieiro. Ocorreu uma medida acertada, com a transferência das estruturas físicas, tecnológicas e de recursos humanos do PLANALSUCAR para as Universidades Federais de Alagoas (UFAL), Rural de Pernambuco (UFRPE), Viçosa-MG (UFV), São Carlos-SP (UFSCar), Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ),

Paraná (UFPR) e Sergipe (UFS). A Nota Técnica da Secretaria do Desenvolvimento Regional da Presidência da República do Brasil, de 16/08/1990, definiu o modelo institucional para o programa de melhoramento da cultura da cana-de-açúcar, transferindo a responsabilidade dos trabalhos de pesquisa, antes afeto às antigas coordenadorias regionais do PLANALSUCAR, para essa rede de Universidades Federais, que a partir de então criaram a RIDESA (Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético). Atualmente a RIDESA conta também com as Universidades Federais de Goiás (UFG), Mato Grosso (UFMT) e Piauí (UFPI), e atuam conjuntamente através de um Acordo de Parceria. Entretanto, o mérito dessa transferência foi prejudicado pela falta de aporte de recursos para a continuidade das pesquisas no desenvolvimento de cultivares RB (DAROS, et al., 2010). Barbosa et al. (2012) apresentam a distribuição das pesquisa nas fases PLANALSUCAR e RIDESA (Figura 4).

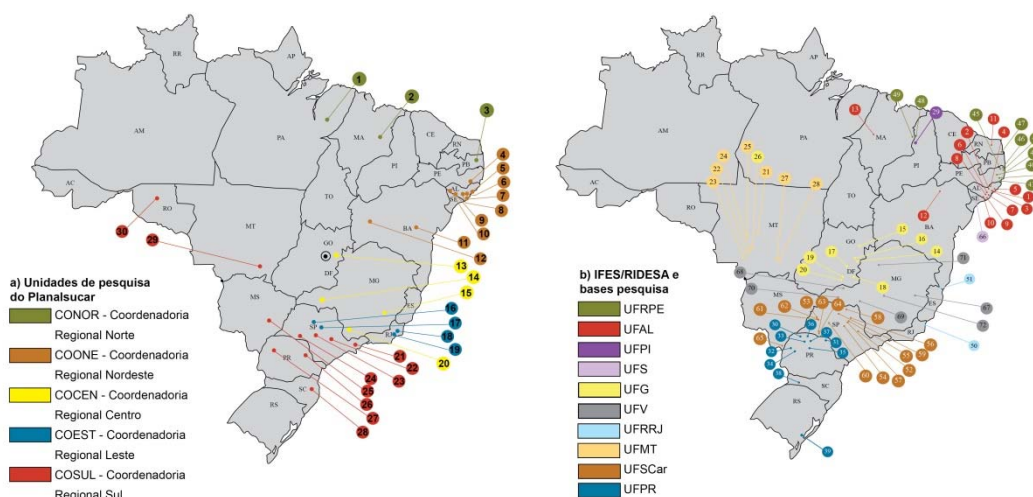


Figura 4. Áreas das unidades de pesquisa do PLANALSUCAR: (a) Coordenadorias Regionais e 30 Estações Experimentais; (b) Instituições Federais de Ensino Superior (IFES) da RIDESA e 72 bases de pesquisa. Fonte: (BARBOSA et al., 2012).

Apesar de solução de continuidade em algumas regiões, as atividades de pesquisas de obtenção de cultivares RB foram retomadas, ainda que precariamente, através de um modelo de parceria público-privada, com a captação de recursos da iniciativa privada para financiamento das pesquisas. Em 2012, foram registrados contratos de parceria das Universidades da RIDESA com 350 empresas do setor sucroalcooleiro (BARBOSA et al., 2012).

A obtenção de cultivares RB das Universidades da RIDESA tem como ponto de partida o Banco de Germoplasma da Estação de Floração e Cruzamento Serra do Ouro, em Murici–

Alagoas, sob a responsabilidade da UFAL (ROCHA et al., 2008). De acordo com Barbosa et al. (2012), o acervo dessa Estação em 2011 era composto de 2.772 acessos, entre espécies e híbridos de diversas origens do mundo (Tabela 1).

Tabela 1. Número de acessos em 2011 do Banco de Germoplasma da cana-de-açúcar da Serra do Ouro – RIDESA/UFAL, Murici, Alagoas.

ESPÉCIES/HÍBRIDOS	Nº DE ACESSOS
<b>ESPÉCIES</b>	
<i>Saccharum officinarum</i>	50
<i>Saccharum sinense</i>	7
<i>Saccharum robustum</i>	9
<i>Saccharum spontaneum</i>	3
<i>Saccharum barberi</i>	5
<i>Saccharum edule</i>	1
<i>Erianthus arundinaceus</i>	4
<b>HÍBRIDOS</b>	
B (Barbados) <sup>67</sup> , BJ (Jamaica) <sup>17</sup> , CR (República Dominicana) <sup>14</sup> , CL (Clewiston-USA) <sup>18</sup> , CP (Canal Point-USA) <sup>152</sup> , Co (Coimbatore-Índia) <sup>61</sup> , CB (Campos Brasil) <sup>151</sup> , CTC (Centro Tecnológico Canavieiro) <sup>(19)</sup> , DB (Guyana) <sup>11</sup> , F (Formosa) <sup>35</sup> , H (Hawai-USA) <sup>134</sup> , IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) <sup>69</sup> , IANE (Instituto Agrônomo do Nordeste) <sup>15</sup> , L (Louisiana-USA) <sup>13</sup> , LAICA (Costa Rica) <sup>22</sup> , M (Mauritios) <sup>18</sup> , MEX (México) <sup>23</sup> , N (Natal-África do Sul) <sup>12</sup> , NA (Norte Argentina) <sup>19</sup> , POJ (Java, Indonésia) <sup>11</sup> , PR (Porto Rico) <sup>23</sup> , Q (Queensland-Austrália) <sup>67</sup> , R (Reunion) <sup>26</sup> , RB (República do Brasil) <sup>1.369</sup> , ROC (Taiwan) <sup>11</sup> , SP (São Paulo, Copersucar) <sup>135</sup> , TUC (Tucumam-Argentina) <sup>57</sup> , TCP (Texas A & M) <sup>14</sup> , US (United States) <sup>17</sup> , de outros programas <sup>93</sup> .	2.693
<b>TOTAL</b>	<b>2.772</b>

Anualmente são realizados centenas de cruzamentos genéticos na Serra do Ouro (Figura 5) para atender aos programas das Universidades da RIDESA (BARBOSA; SANTOS, 2011). As cariopses resultantes das hibridações obtidas pela UFAL são distribuídas anualmente para cada Universidade da RIDESA, que desenvolve seu programa regional de obtenção de cultivares RB - Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar/PMGCA (BARBOSA et al., 2002; DAROS et al., 2010; BARBOSA et al., 2012). Nessa atuação conjunta, há o intercâmbio dos melhores clones RB em fase avançada de cada programa, para as testagens nas diversas regiões canavieiras do país. O êxito dessa rede brasileira de pesquisa em melhoramento genético da cana-de-açúcar é aquilatado pela adoção de cultivares RB, que ocuparam quase 60% da área canavieira do Brasil na safra 2011, com grande contribuição para o setor sucroalcooleiro do Brasil, uma vez que de 1970 a 2011, houve aumento anual de 155,7 kg de ATR ha<sup>-1</sup>, correspondente a 4% ao ano (BARBOSA et al. 2012). Os autores consideraram que



a metade desse índice se deveu a substituição contínua de variedades, o que representou em 2011, para uma área de nove milhões de hectares, uma contribuição de 350 milhões de reais, ou 175 milhões de dólares.

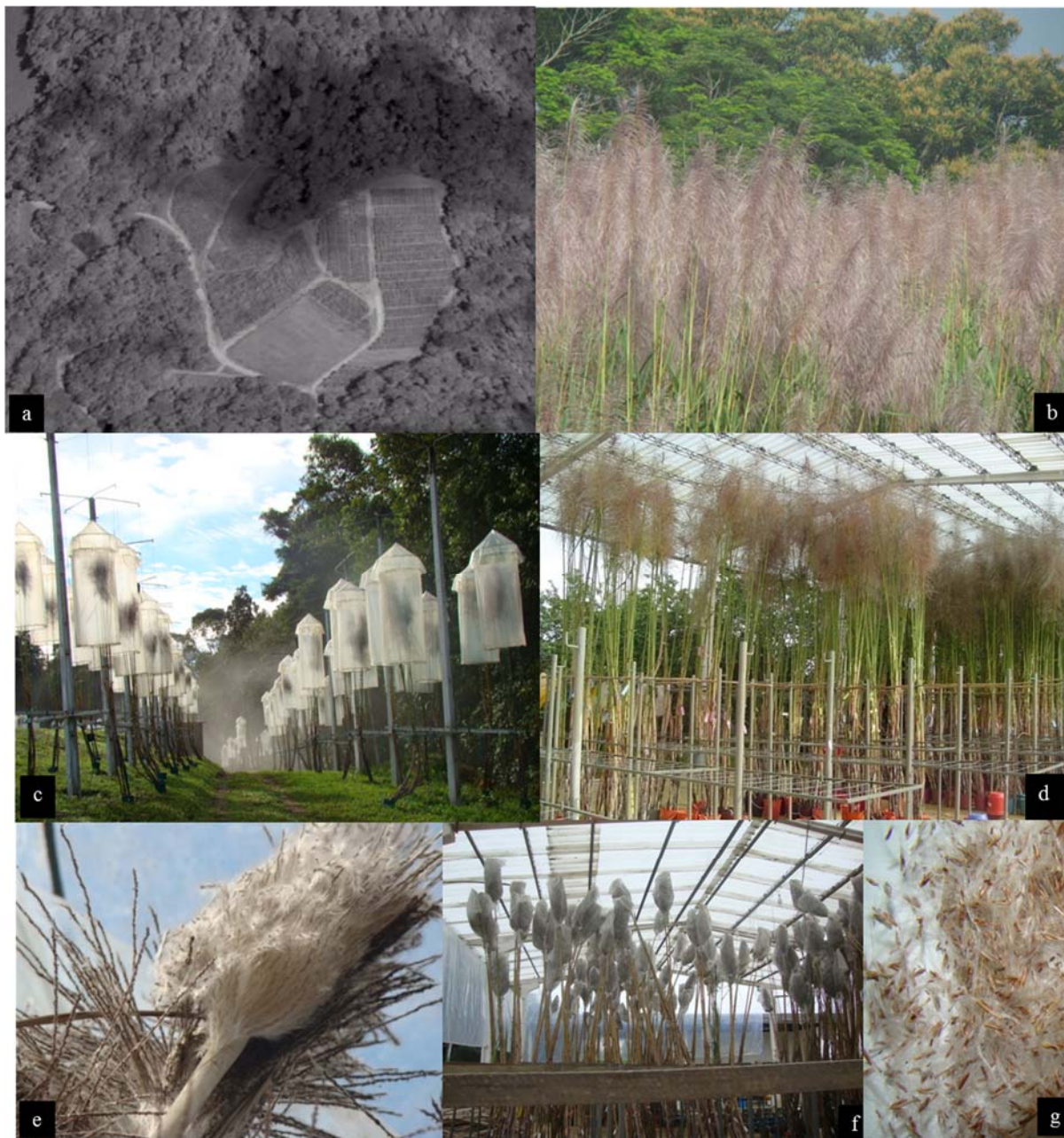


Figura 5. Ilustrações e procedimentos de hibridação da cana na Estação de Floração e Cruzamento Serra do Ouro – RIDESA/UFAL, Murici, Alagoas. (a): vista aérea da Serra do Ouro; (b): campo com profuso florescimento da cana; (c): cruzamentos do tipo Bi-Parental; (d): cruzamentos do tipo Multi-Parental; (e): panícula com espiguetas/cariopses; (f): amadurecimento das espiguetas/cariopses; (f): espiguetas com destaque de cariopses.



Desde o início da RIDESA, o programa RIDESA/UFAL liberou dezessete novas cultivares para o setor canavieiro alagoano, sendo nove com participação do extinto PLANALSUCAR: RB75126, RB83102, RB83160, RB83252 e RB83594, liberadas em 1993 (BARBOSA, 1993); RB8495, RB842021, RB855463 e RB845511, liberadas em 2000 (BARBOSA et al., 2000); e oito desenvolvidas exclusivamente pelo programa RIDESA/UFAL: RB92579, RB93509 e RB931530, liberadas em 2003 (BARBOSA et al., 2003); e RB931003, RB931011, RB951541, RB98710 e RB99395, liberadas em 2010 (DAROS et al., 2010). Dessas inovações, doze cultivares liberadas entre 2000 a 2010 foram registradas e protegidas em nome da UFAL no Sistema Nacional de Proteção de Cultivares (SNPC) do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). A Figura 6 ilustra sete cultivares RB protegidas em nome da UFAL e que figuram entre as mais adotadas pelos produtores de Alagoas em 2011.



Figura 6. Principais cultivares RB protegidas pela UFAL e que foram adotadas em 2011 pelos produtores de Alagoas.

Além dessas inovações, o programa RIDESA/UFAL tem introduzido genótipos RB de outras Universidades da RIDESA, como a cultivar RB867515, selecionada pelo PLANALSUCAR em Minas Gerais e liberada pela RIDESA/UFV em 1997 (BARBOSA et al.

2001). Em 2011, esta cultivar foi a mais importante para o país, ocupando 22,1% da área plantada (BARBOSA et al. 2012).

O reflexo dessas inovações para a economia canavieira alagoana pode ser apurado pelo alto nível de adoção das cultivares RB no Estado, vez que atingiu 62,5% da área cultivada em 2012 (CHAPOLA et al., 2013).

Contudo, o marco histórico da contribuição do melhoramento genético da cana para Alagoas foi à obtenção da RB92579, variedade que impactou a produtividade da cultura no Estado e na região, pelas suas excelentes características de rendimento agrícola e alto conteúdo em açúcares (BARBOSA et al., 2008; DAROS et al., 2010). O processo de obtenção da RB92579 aconteceu em 1992 por meio de cruzamento genético na Serra do Ouro entre a RB75126, como receptora de pólen, e a RB72199, como fornecedora. A plântula originária da cariopse desse cruzamento foi transplantada para a subestação da Usina Coruripe (10°8'S, 36°11'W) em 1992 entre 19.920 indivíduos, e após o quinto ano de seleção passou para a fase de experimentação em diversos ambientes de Alagoas. A liberação da RB92579 ocorreu em 2003 (BARBOSA et al., 2003). Deste então, na maioria das usinas de Alagoas são observados rendimentos agroindustriais de 30 a 40% superiores às cultivares padrões utilizadas comercialmente em 2003 e 60% superiores as cultivares mais usadas entre 1970 a 1990 (BARBOSA et al., 2008). Registre-se que em área comercial de 60 ha da usina Agrovale, Bahia, na safra de 2006, sob o regime de irrigação plena, em treze meses de idade a RB92579 alcançou rendimento de 260 TCH (Figura 7), valor recorde mundial (BARBOSA et al., 2008; WACLAWOVSKY et al., 2010) e mais próximo do patamar teórico, equivalente a dois terço do rendimento potencial da cultura.



Figura 7. Cultivar RB92579 colhida em 2006 na usina Agrovale, Bahia.

Atualmente, com elevada área de cultivo em Alagoas (32,5%) e em toda a região Nordeste, também tem ocorrido grande expansão de cultivo da RB92579 por toda área canavieira do país. A RB92579 ocupou em 2012 a terceira posição entre as mais plantadas no Brasil, sendo a quarta mais cultivada, com 322.549 ha (CHAPOLA et al., 2013). Esta cultivar superou 5% da área dos canaviais do país, passando a ser considerada “variedade significativa” para o Brasil - conceito estabelecido por Braga Jr. et al. (2011) quando a variedade em pelo menos um ano atinge o percentual de 5% ou mais do cultivo de uma região.

Nas últimas três décadas houve expressivo aumento do número de cultivares nas empresas do setor sucroalcooleiro alagoano, com elevada diversidade genética, exigindo maior cuidado técnico nos seus manejos, de acordo com os fatores ambientais (solo, clima, época de plantio, época de colheita, etc.), e das especificidades de cada cultivar (arquitetura foliar mais eficaz na captação da energia solar, profundidade e distribuição do sistema radicular, riqueza em açúcares totais recuperáveis, precocidade, período útil de industrialização, resistência às pragas, doenças e florescimento, etc.). Uma boa cultivar, portanto, deve apresentar um conjunto de qualidades capaz de competir com as condições existentes e mostrar resultados superiores às expectativas ambientais. De outro modo, é praticamente impossível reunir em uma só cultivar todas as características desejadas pelo produtor, haja vista a constante presença da interação genótipo x ambiente. Entretanto, com um manejo adequado e de acordo com as recomendações da pesquisa, plantando-se a cultivar na época certa, no local certo, realizando-se os tratos culturais adequados e colhendo-se no seu período útil de industrialização, certamente bons retornos econômicos serão obtidos (BARBOSA et al., 2003).

A grande contribuição da RB92579 para as empresas alagoanas pode ser medida pelos resultados comerciais de dez safras (2003/2004 a 2012/2013) das Usinas Coruripe e Santo Antônio, apresentados por Sousa (2013). Essas unidades agroindustriais são exemplo da aplicação do manejo adequado de cultivares da cana-de-açúcar: na Usina Coruripe (distribuição irregular da precipitação pluvial, mas com uso de irrigação complementar de cerca de 150 mm por ciclo de cultivo) a RB92579 teve área colhida em dez safras de 47.808 ha, atingiu rendimento médio de 88,2 TCH, ATR de 140,1, o que redundou em 12,4 t de ATR ha<sup>-1</sup>; este resultado de rendimento em açúcar é 30% superior ao rendimento da cultivar padrão comercial da usina na época da liberação da RB92579; por sua vez, na Usina Santo Antônio (região de melhor precipitação pluvial, com menor déficit hídrico e sem irrigação), a RB92579 teve área colhida em dez safras de 66.091 ha, atingiu 90,3 TCH, ATR de 134,1, o que resultou em 12,2 t de ATR ha<sup>-1</sup>; este resultado de rendimento em açúcar supera em 25% o rendimento da cultivar padrão comercial da usina na época da liberação da RB92579. Na indústria açucareira

australiana, a cultivar Q200 tem apresentado benefícios médios parecidos com os da RB92579 nas duas empresas de Alagoas: em sete safras, com área acumulada de 129.458 ha de 2003 a 2009, esta cultivar em média rendeu 1,840 t ha<sup>-1</sup> de açúcar a mais em relação às demais, com retorno médio de 82,2 milhões de dólares (BERDING; MCINTYRE, 2010). No entanto, ao serem consideradas todas as cultivares desenvolvidas em 30 anos, Cox et al. (2005) apuraram para a safra 2003 do país, numa área de 410 mil ha, o retorno médio no investimento realizado pela iniciativa privada no melhoramento genético da cana-de-açúcar de 33,00 US\$ ha<sup>-1</sup>.

Braga Jr. et al. (2011) define o ritmo de adoção de novas variedades pelas empresas do setor sucroalcooleiro por Índice de Atualização Varietal (IAV). Conforme o autor, no censo brasileiro de 2009 divulgado pelo CTC, o Estado de Alagoas obteve um dos melhores índices, demonstrando a preocupação dos produtores em usar o mais rápido possível novas variedades. A adoção dessas variedades nas últimas décadas tem contribuído decisivamente para a elevação dos rendimentos, rentabilidade, competitividade e sustentabilidades das empresas alagoanas (BARBOSA et al., 2008). O progresso verificado nos rendimentos de açúcar em Alagoas nas quatro últimas décadas, denota que o melhoramento genético da cana-de-açúcar, desenvolvido através de um modelo de parceria pública-privada, cumpriu com grande êxito as metas previstas no projeto da criação do PLANALSUCAR (IAA, 1972), e isto aponta que este programa de pesquisa deveria receber muito mais aporte de recursos financeiros.

## 2.5 UM OLHAR PARA O FUTURO – A CANA ENERGIA

É notório que nas últimas quatro décadas houve significativo ganho de rendimento de açúcar e aumento da rentabilidade das empresas do setor açucareiro brasileiro e alagoano com a adoção dos modernos genótipos. Entretanto, à medida que toda a cana possa ser colhida (colmo, ponteiros e palhas), com o aproveitamento dos seus açúcares (sacarose, glicose e frutose) e das fibras (celulose, hemicelulose e lignina), essa cultura passa a ser uma fonte de enorme interesse. Assim, será possível utilizá-la numa ampla gama de produtos em processos integrados e interdependentes e as atuais usinas de açúcar e etanol se configuram cada vez mais no contexto das chamadas Biorrefinarias. Com isso, vislumbra-se que essas Biorrefinarias possam produzir outros produtos derivados da cana além daqueles tradicionais. As projeções mostram que a cana possa produzir biocombustíveis avançados, como etanol celulósico, o diesel de cana, o bioquerosene de aviação, além de plástico biodegradável, bioquímicos, fármacos e polímeros para a fabricação de cosméticos e fragrâncias (BNDES/CGEE, 2008).



A utilização da fibra da biomassa como matéria-prima para fins energético pode ser feita segundo quatro plataformas básicas: i) combustão direta para produção de energia térmica (vapor) e cogeração de eletricidade; ii) hidrólise química ou enzimática da fibra (celulose e hemicelulose) para obtenção de açúcares fermentescíveis e produção de combustíveis líquidos; iii) gaseificação para produção de gás de síntese (monóxido de carbono e hidrogênio) ou geração de biogás; e iv) pirólise para obtenção de bio-óleo ou carvão/coque (MATSUOKA et al., 2010).

Tendo como base essa diretriz e com o propósito de aproveitar a oferta em Alagoas de bagaço e palha da colheita mecanizada da cana-de-açúcar, em maio de 2012 houve o lançamento no Estado da primeira Biorrefinaria do Hemisfério Sul, com previsão de operar em fevereiro de 2014 na produção de etanol celulósico (FINEP, 2013).

Neste contexto, visando atender as exigências dos novos mercados, certamente haverá mudança das estratégias do melhoramento genético na obtenção de futuros clones de cana. Ming et al. (2006) alertaram aos pesquisadores para enxergarem o grande potencial dessa planta como uma cultura energética. Por conseguinte, a cana como uma matéria-prima múltipla para produção de açúcar, etanol, eletricidade, biocombustíveis, biopolímeros e biofármacos terá grande aumento na demanda e forçosamente exigirá mudança de paradigmas na abordagem da pesquisa das diversas áreas (GOPINATHAN, 2013). No que concerne à pesquisa do melhoramento genético, os objetivos passarão a ser redimensionados para: i) obtenção de clones do tipo tradicional “cana-de-açúcar”, com maior rendimento de massa do colmo e maior conteúdo de açúcares, e assim continuar atendendo as atuais empresas do setor sucroalcooleiro que usam os processos industriais convencionais; ii) obtenção de clones “cana energia tipo I”, com maior rendimento de biomassa (colmo, palhas e ponteiros), maior conteúdo de açúcares e maior conteúdo de fibra, visando atender aos novos empreendimentos das Biorrefinarias para a produção mais eficaz dos atuais produtos, além de novos produtos que exigem tecnologias mais avançadas; e iii) obtenção de “cana energia tipo II”, com elevado rendimento em biomassa, baixo conteúdo em açúcares e elevado teor de fibra, para atender as Biorrefinarias na produção de etanol celulósico, bem como a outras indústrias que necessitam substituir energias fósseis por energia mais limpa e renovável com base na biomassa da cana. Para tanto, os híbridos modernos, combinado ao *pool* gênico das espécies do gênero *Saccharum* e correlatos atenderão a essas expectativas (MING et al., 2006; TEW; COBILL, 2008).

A UFAL/RIDESA iniciou em 2011 um programa de obtenção de cana energia originados de cruzamentos de híbridos atuais com acessos selvagens de *S. spontaneum*. Os resultados preliminares direcionam para a obtenção de clones promissores nas características

de desenvolvimento da biomassa total, número de colmos por touceira, aspectos fitossanitários e vigor da planta. Com esses resultados, espera-se obter, nos próximos anos, cultivares RB de cana energia que possam atender à ascendente demanda de empresas voltadas para a produção de etanol celulósico, bioeletricidade e bioquímicos (SANTOS et al., 2013).

Complementando, e conforme Jackson et al. (2013), os critérios e estratégias a serem adotados no futuro nos programas de melhoramento genéticos para a seleção dos diversos tipos de clones de cana deverão seguir modelos com índices econômicos ponderados pelo valor econômico dos produtos finais dos açúcares e das fibras.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. C. S.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G. V. S.; MOURA FILHO, G.; FERREIRA JR., R. A. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, p. 1441-1448, 2008.

ANDRADE, J. C. **Escorço histórico de antigas variedades de cana-de-açúcar**. Maceió: Asplana, 1985. 285 p.

ANDRADE, M. C. **Usinas e destilarias das Alagoas**: Uma contribuição ao estudo da produção do espaço. 2. ed. Maceió: Edufal, 2010. 138 p.

AZZI, G. M. **Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar**. Rio de Janeiro: IAA/DAP, 1971. 148 p.

BARBASSO, D.; JORDÃO, H.; MACCHERONI, W.; BOLDINI, J.; BRESSIANI, J. A. First Report of *Puccinia kuehnii*, Causal Agent of Orange Rust of Sugarcane, in Brazil. **Plant Disease**, v.94, p. 1170, 2010.

BARBOSA, G. V. S. Análise da interação de novas variedades RB de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) com ambientes de cultivo em Alagoas. In: Congresso Nacional da STAB, 5., 1993, Águas de São Pedro. **Anais...** Piracicaba: STAB, 1993. p. 115-120.

BARBOSA, G. V. S.; SOUSA, A. J. R.; ROCHA, A. M. C.; RIBEIRO, C. A. G.; FERREIRA, J. L. C.; SOARES, L.; CRUZ, M. M.; SILVA, W. C. M. **Novas variedades RB de cana-de-açúcar para Alagoas**. Rio Largo: UFAL/CECA, 2000. 14 p.

BARBOSA, G.V.S.; CRUZ, M. M.; SOARES, L.; ROCHA, A. M. C.; RIBEIRO, C. A. G.; SOUSA, A. J. R.; FERREIRA, J. L. C.; BARRETO, E. J. S.; SILVA, W. C. M.; SANTOS, A. V. P. A brief report on sugarcane breeding program in Alagoas, Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v.2, p. 613-616, 2002.

BARBOSA, G. V. S.; SOUSA, A. J. R.; ROCHA, A. M. C.; SANTOS, V. P. S.; RIBEIRO, C. A. G.; BARRETO, E. J. S.; MOURA FILHO, G.; SOUZA, J. L.; FERREIRA, J. L. C.;

SOARES, L.; CRUZ, M. M.; FERREIRA, P. V.; SILVA, W. C. M. **Três novas variedades RB de cana-de-açúcar**. Rio Largo: UFAL/CECA, 2003. 16 p.

BARBOSA, G. V. S.; SILVA, P. P.; SANTOS, J. M. ; CRUZ, M. M. ; SOUSA, A. J. R.; RIBEIRO, C. A. G.; FERREIRA, J. L. C.; SAMPAIO FILHO, F.; SANTOS, T. W. T. ; NASCIMENTO, B. F. C. ; SILVA, W. T. ; ALMEIDA, B. F. A. Desempenho agroindustrial e censo de variedades de cana-de-açúcar cultivadas no Estado de Alagoas. In: Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil - STAB, 9., 2008, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB Regional Leste, 2008. p. 464-470.

BARBOSA G. V. S.; SANTOS J. M. Serra do Ouro: Estação de Floração e Cruzamento – RIDESA/CECA/UFAL. In: ISSCT Germplasm & Breeding Workshop, 10; Molecular Biology Workshop, 7, 2011, Maceió. **Apresentações...** Maceió: ISSCT, 2011. [CD-ROM].

BARBOSA, M. H. P.; SILVEIRA, L. C. I.; OLIVEIRA, M. W.; SOUZA, V. F. M.; RIBEIRO, S. N. N. RB867515 Sugarcane cultivar. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v.1, p. 437-438, 2001.

BARBOSA, M. H. P.; SILVEIRA, L. C. I. Melhoramento genético e recomendação de cultivares. In: SANTOS, F., BORÉM, A., CALDAS, C. **Cana-de-açúcar: Bioenergia, açúcar e álcool – tecnologias e perspectivas**. Viçosa: Editora UFV, 2010. p. 313-331.

BARBOSA, M. H. P.; RESENDE, M. D. V.; DIAS, L. A. S.; BARBOSA, G. V. S.; OLIVEIRA, R. A.; PETERNELLI, L. A.; DAROS, E. Genetic improvement of sugar cane for bioenergy: the Brazilian experience in network research with RIDESA. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v.12, p. 87-98, 2012.

BARNES, A. C. **The sugar cane**. 2. ed. London: Leonar Hill Books, 1974. 572 p.

BERDING, N.; SKINNER, J. C. Traditional breeding methods. In: **COPERSUCAR International Sugarcane Breeding Workshop**. São Paulo: COPERSUCAR, 1987. p. 269-320.

BERDING, N.; MOORE, P. H. Advancing from opportunistic sexual recombination in sugar cane lessons from tropical photoperiodic research. In: ISSCT CONGRESS, 24., 2001, Brisbane. **Proceedings...** Brisbane: ISSCT, 2001. p. 482-487.

BERDING, N.; HOGARTH M.; COX, M. Plant Improvement of Sugarcane, In: JAMES, G. L. (Ed.). **Sugarcane**. 2. ed., Victoria: Blackwell Science, 2004. p. 20-53.

BERDING, N.; MCINTYRE, R. K. Evaluation of commercial performance and attributes of Q200 in north Queensland. **Australian Society of Sugar Cane Technologists**, v.32, p. 262-277, 2010.

BNDES/CGEE. **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: BNDES, 2008. 316 p.

BRAGA JR., R. L. C.; SORDI, R. A. Evolução das áreas cultivadas com variedades SP de cana-de-açúcar nos últimos cinco anos. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 6., 1996, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB Regional Leste, 1996. p. 230-237.



BRAGA JR., R. J. C. **Censo varietal e de produtividade em 2009**. Piracicaba: CTC – Centro de Tecnologia Canavieira, 2010. 20 p.

BRAGA JR., R. L. C.; OLIVEIRA, I. A.; RAIZER, J. A. Evolução das áreas cultivadas com variedades de cana-de-açúcar no Brasil nos últimos vinte anos. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.30, p. 46-50, 2011.

BREAUX, R. D. Breeding to enhance sucrose content of sugarcane varieties in Louisiana. **Field Crops Research**, v.9, p. 59–67, 1984.

BRESSIANI, J. A.; DA SILVA, J. A. ; VENCovsky, R., SORDI, R. ; BURNQUIST, W. L. Combining high yields of cane and sucrose in sugarcane through recurrent selection. **Journal American Society Sugar Cane Technologist**, v.26, p. 26-37, 2006.

BURNQUIST, W. L.; REDSHAW, K.; GILMOUR, R. F. Evaluating sugarcane R&D performance: evaluation of three breeding programs. In: ISSCT CONGRESS, 27., 2010, Vera Cruz. **Proceedings...** Vera Cruz: ISSCT, 2010. p. 1-15.

CARVALHO, C. P. O. **Análise da reestruturação produtiva da agroindústria sucroalcooleira alagoana**. Maceió: EDUFAL, 2000. 74 p.

CARVALHO, L. C. C. Cenário sucroalcooleiro: as esperanças do ano novo. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**. Piracicaba, v. 21, n.3, p. 8-9, 2003.

CELESTINO, F. J. P.; XIMENES FILHO, L. C.; ROTENBERG, M. S. Perspectivas de novas variedades de cana-de-açúcar para o Estado de Alagoas. In: Simpósio de Avaliação da Agroindústria da Cana-de-açúcar no Estado de Alagoas, 3., 1986, Maceió. **Anais...** Maceió: PLANALSUCAR-STAB Regional Leste, 1986. p. 31-45.

CESNIK, R.; MIOCQUE, J. **Melhoramento da cana-de-açúcar**. Brasília: Embrapa, 2004. 307 p.

CGEE. **Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), 2009. 536 p.

CHAPMAN, L. S. Increase in sugar yield from plant breeding from 1946 to 1994. In: WILSON, J. R.; HOGARTH, D. M.; CAMPBELL, J. A.; GARSIDE, A. L. (Eds.). **Sugarcane: Research Towards Efficient and Sustainable Production**. Brisbane: CSIRO Division of Tropical Crops and Pastures, 1996, p. 37-38.

CHAPOLA, R. G.; CRUZ, J. A.; NUNES, I. K.; FERNANDES JR., A. R. **Censo varietal 2012**. Araras: CCA-UFSCar, 2013. 55 p.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira - Cana-de-açúcar. Primeiro levantamento Safra 2013/2014**. Brasília: CONAB, abril 2013. 17 p.

COPERSUCAR. **Reunião técnica agrônômica: variedades de cana-de-açúcar e suas implicações na lavoura canavieira**. Piracicaba: Centro de Tecnologia COPERSUCAR, 1983. 63 p.

COPERSUCAR. **Quarta geração de variedades de cana-de-açúcar COPERSUCAR**. Piracicaba: COPERSUCAR, 1993. 20 p.

COX, M. C.; STRINGER, J. K.; CERVELLIN, R. J. Productivity increases from new varieties in the Queensland sugar industry. **Australian Society of Sugar Cane Technologists**. v.27, p. 124-132, 2005.

COX, M. C.; STRINGER, J. K. Analysis of sugarcane productivity data: increases from new cultivars and improved management in Australia. In: MERCER, C. F. (Ed.). **AUSTRALASIAN PLANT BREEDING CONFERENCE**, 13., 2006, Christchurch. **Proceedings...** Christchurch: 2006, p. 1-5.

COX, M. C.; STRINGER, J. K. Benchmarking genetic gains from new cultivars in Queensland using productivity data. ISSCT CONGRESS, 26., 2007, Durban. **Proceedings...** Durban: ISSCT, 2007, p. 624-631.

CRUZ, M. M.; CÔRTE BRILHO, F. F.; TOKESHI, H. Principais doenças da cana-de-açúcar no Estado de Alagoas. **Agroquímica Ciba-Geigy**, São Paulo, n.25, p. 12-18, 1984a.

CRUZ, M. M.; OLIVEIRA, W. F.; TOKESHI, H. Levantamento e acompanhamento da infecção de cana-de-açúcar por *Cercosporidium koepkei*, causador de mancha amarela, no Estado de Alagoas. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 3., 1984, São Paulo. **Anais...** São Paulo: STAB, 1984b. p. 239-244.

CRUZ, M. M.; BARBOSA, G. V. S. Avaliação da intensidade de Ferrugem (*Puccinia melanocephala*) sobre variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) em diferentes épocas de plantio em Alagoas. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 6., 1996, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB Regional Leste, 1996. p. 302-315.

CRUZ, M. M. **Doenças da Cana-de-açúcar: importância e controle**. Maceió: CECA-UFAL, 2010. 22p.

CRUZ, M. M.; MONTEIRO, J. H. A.; BARBOSA, G. V. S. Primeiro relato da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar (*Puccinia kuehnii*) no Nordeste do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 45., Manaus. **Anais...** Manaus: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, 2012, p. 169.

DAL-BIANCO, M.; CARNEIRO, M. S.; HOTTA, C. T.; CHAPOLA, R. G.; HOFFMANN, H. P.; GARCIA, A. A. F.; SOUZA, G. M. Sugarcane improvement: how far can we go?. **Current Opinion in Biotechnology**, v.23, p. 265-270, 2012.

DAROS, E.; OLIVEIRA, R. A.; ZAMBON, J. L. C.; BESPALOCK FILHO, J. C. **Catálogo Nacional de Variedades "RB" de Cana-de-açúcar**. Curitiba: RIDESA, 2010. 136 p.

DIEGUES JÚNIOR, M. **O Banguê nas Alagoas – Traços da influência do sistema econômico do engenho de açúcar na vida e na cultura regional**. 3. ed. Maceió: EDUFAL, 2006. 341 p.

EDMÉ, S. J.; MILLER, J. D.; GLAZ, B.; TAI, P. Y. P.; COMSTOCK, J. C. Genetic contribution to yield gains in the Florida sugarcane industry across 33 years. **Crop Science**, Madison, v.45, p. 92-97, 2005.

EECAA. **Relatório Anual 1970/1971**. Rio Largo: EECAA, 1971. 311 p.

EMBRAPA SOLOS. **Solos do Nordeste**. Disponível em: <<http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.php?link=al>>. Acesso em: 10 set. 2012.

EPE/MME. **Balanco Energético Nacional/Relatório Final**. Brasília: EPE/MME, 2012. 282 p.

ETHIRAJAN, A. S. Sugarcane hybridization techniques. In: **COPERSUCAR International Sugarcane Breeding Workshop**. São Paulo: COPERSUCAR, 1987. p 129-138.

FERNANDES, A. C.; TATIZANA, S. A. Retorno Econômico do Programa de Melhoramento de Cana-de-açúcar da COPERSUCAR nas safras 86/87 a 90/91. In: **V Seminário de Tecnologia Agrônômica**. Piracicaba: COPERSUCAR, 1991. p. 79-95.

FINEP. **GranBio inaugura estação de pesquisa em Alagoas**. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br>>. Acesso em: 15 jul. 2013.

GHELLER, A. C. A. Variedades de cana-de-açúcar cultivadas no Estado de São Paulo em 1995 – censo varietal. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 6, 1996, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB Regional Leste, 1996. p.173-180.

GOPINATHAN, M. C. Changing landscape of sugarcane production – need for a paradigm shift in sugarcane research and development. In: ISSCT CONGRESS, 28, 2013, São Paulo. **Abstracts**. São Paulo: ISSCT, 2013. p. 321-321.

HEINZ, D. J. Sugarcane improvement: current productivity and future opportunities. In: **COPERSUCAR International Sugarcane Breeding Workshop**. São Paulo: COPERSUCAR, 1987. p. 55-70.

HENRY, R. J. Basic Information on the Sugarcane Plant. In: HENRY, R. J.; KOLE, C. (Eds.) **Genetics, Genomics and Breeding of Crop Plants**. New Hampshire: Science Publishers, 2010. p. 1-7.

HOFFMANN, H. P.; FRANCELLO, A. L.; MATSUOKA, S.; MASUDA, Y. Contribuição de variedades de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, nos últimos cinquenta anos. In: Congresso Nacional da STAB, 7., 1999, Londrina. **Anais...** Piracicaba, STAB, 1999. p. 49-52.

HOGARTH, D. M. New varieties lift sugar production. **Producers Review**, v.66, p. 21-22, 1976.

IAA. **BRASIL/AÇÚCAR**. Rio de Janeiro: MIC/IAA, Coleção Canavieira nº 8, 1972. 244 p.

IVO, W. M. P. M.; ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D.; BARBOSA, G. V. S.; VASCONCELOS, J. N. Impulsionando a produção e a produtividade da cana-de-açúcar. In: **Agricultura Tropical: Quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. 1. ed. Brasília: EMBRAPA, 2008, v.1, p. 673-716.

JACKSON, P. A. Breeding for improved sugar content in sugarcane. **Field Crops Research**, v.92, p. 277-290, 2005.

JACKSON, P. A.; HU, F.; WEI, X. Optimising selection in breeding programs for production of sugar and energy. In: ISSCT CONGRESS, 28., 2013, São Paulo. **Abstracts...** São Paulo: ISSCT, 2013. p. 99.

JAMES, G. L. An Introduction to Sugarcane. In: JAMES, G. L. (Ed.). **Sugarcane**. 2. ed. Victoria: Blackwell Science, 2004, p. 1-19.

KIMBENG, C. A.; COX, M. C. Early generation selection of sugarcane families and clones in Australia: a review. **Journal American Society of Sugarcane Technologists**, v.23, p. 20-39, 2003.

LANDELL, M. G. A.; BRESSIANI, J. A. Melhoramento genético, caracterização e manejo varietal. In: DINARDO-MIRANDA, L. L., VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Eds.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2008. p. 101-179.

LINGLE, S. E.; JOHNSON, R. M.; TEW, T. L.; VIATOR, R. P. Changes in juice quality and sugarcane yield with recurrent selection for sucrose. **Field Crops Research**, v.118, p. 152-157, 2010.

LOUREIRO, O. **Açúcar: notas e comentários**. Maceió: Associação dos Produtores de Açúcar do Estado de Alagoas, 1970. 395 p.

MACHADO JR., G. R. **Sugarcane variety notes “an international directory”**. 7. ed. São Paulo: EDUSP, 2001. 105 p.

MANGELSDORF, A. J. **Um programa de melhoramento da cana-de-açúcar para a agroindústria canavieira do Brasil**. Rio de Janeiro: IAA/DAP, 1966. 63 p.

MATSUOKA, S.; BRESSIANI, J.; MACCHERONI, W.; FOUTO, I. Bioenergia de cana. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (Eds.). **Cana-de-açúcar: Bioenergia, Açúcar e Álcool – Tecnologias e Perspectivas**. Viçosa: Editora UFV, 2010. p. 487-517.

MING, R.; MOORE, P. H.; WU, K-K.; D'HONT, A.; GLASZMANN, J. C.; TEW, T. L.; MIRKOV, T. E.; DA SILVA, J.; JIFON, J.; RAI, M.; SCHNELL, R. J.; BRUMBLEY, S. M.; LAKSHMANAN, P.; COMSTOCK, J. C.; PATERSON, A. H. Sugarcane improvement through breeding and biotechnology. In: JANICK, J. (Ed.). **Plant Breeding Reviews**, v.27. New Jersey: John Wiley & Sons Inc, 2006. p. 15-118.

MOORE, P. H. Physiology and control of flowering. In: **COPERSUCAR International Sugarcane Breeding Workshop**. São Paulo: COPERSUCAR, 1987. p. 103-128.

MOORE, P. H. Integration of sucrose accumulation processes across hierarchical scales: towards developing an understanding of the gene-to-crop continuum. **Field Crops Research**, v.92, p. 119-135, 2005.

NATT. **Comportamento de variedades de cana-de-açúcar nas diversas regiões canavieiras de Alagoas**. Maceió: NATT/CRPAA, 1988. 28 p.

NATT. **Recomendação de novas variedades SPs, para cultivo comercial, no Estado de Alagoas**. Maceió: NATT/CRPAA, 1993, 29 p.

NYKO, D.; VALENTE, M. S.; MILANEZ, A. Y.; TANAKA, A. K. R.; RODRIGUES, A. V. P. A evolução das tecnologias agrícolas do setor sucroenergético: estagnação passageira ou crise estrutural? **BNDES Setorial/Bioenergia**, Rio de Janeiro, v.37, p. 399-442, 2013.

OITICICA, J. E. R. **Revivescências**. Maceió: Lumen Editoração Eletrônica, 1994. 218 p.

OLIVEIRA, R. A. **Seleção de famílias de maturação precoce em cana-de-açúcar via REML/BLUP**. 2007. 127 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; RESENDE, M. D. V.; BESPALHOK FILHO, J. C.; ZAMBON, J. L. C.; SOUZA, T. R.; LUCIUS, A. S. F. Procedimento Blupis e seleção massal em cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v.70, p. 796-800, 2011.

PIPERIDIS, N.; PIPERIDIS, G.; D'HONT, A. Molecular cytogenetics. In: HENRY, R. J.; KOLE, C. (Eds.) **Genetics, genomics and breeding of sugarcane**. New York: Science Publishers, 2010. p. 9-18.

PLANALSUCAR. **Relatório Anual**. Rio de Janeiro: PLANALSUCAR, 1972. 32 p.

PLANALSUCAR. **Guia para a identificação das principais variedades da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: PANALSUCAR, 1977a. 28 p.

PLANALSUCAR. **Novas variedades RB**. Maceió: PLANALSUCAR, 1977b. 29 p.

PLANALSUCAR. RB72454: uma variedade de cana-de-açúcar para todo o Brasil. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v.105 (n.4, n.5 e n.6), p. 8-18, 1987.

PLANALSUCAR. RB72454: Resultados Experimentais no Centro-Sul e Norte-Nordeste do Brasil. **Brasil Açucareiro**, Piracicaba, v.106 (n.1), p. 1-39, 1988.

ROACH, B. T.; DANIELS, J. A Review of the origin and improvement of sugarcane. In: **COPERSUCAR International Sugarcane Breeding Workshop**. São Paulo: COPERSUCAR, 1987. p. 1-31.

ROCHA, A. M. C.; SANTOS, J. M.; BARBOSA, G. V. S.; CRUZ, M. M.; SOUSA, A. J. R.; RIBEIRO, C. A. G.; FERREIRA, J. L. C.; SILVA, P. P.; SANTOS, T. W. T.; NASCIMENTO, B. F. C. Quatro décadas de contribuição da Serra do Ouro para a agroindústria da cana-de-açúcar do Brasil. In: Congresso Nacional da STAB, 9., 2008, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB Regional Leste, 2008. p. 552-536.

RODRIGUES, C. M. A pesquisa agropecuária federal no período compreendido entre a República Velha e o Estado Novo. **Cad. Dif. Tecnol.**, Brasília, v.4, n.2, p. 129-153, 1987.

SANGUINO, A.; COELHO, J. A.; ALMEIDA, C. G.; CARDOSO, C. O. N. Produção e multiplicação de mudas sadias de cana-de-açúcar. In: **V Seminário de Tecnologia Agrônômica**. Piracicaba: COPERSUCAR, 1991. p. 101-108.

SANT'ANA, M. M. **Contribuição à história do açúcar em Alagoas**. Maceió: Imprensa Oficial Graciliano Ramos, 2011. 529 p.

SANTOS, J. M.; BARBOSA, G. V. S.; SILVA, P. P.; CRUZ, M. M.; SILVA, A. M. O.; DUARTE FILHO, L. S.; DINIZ, C. A., 2013. Desenvolvimento de Cultivares de Cana Energia. In: Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas, 7., Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, 2013. p. 992-995.

SIMMONDS, N. W. The impact of plant breeding on sugarcane yields in Barbados. **Tropical Agriculture**, v.56, n.4, p. 289-300, 1979.

SINDAÇÚCAR. SINDICATO DA INDÚSTRIA DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL NO ESTADO DE ALAGOAS. Maceió. Disponível em: <<http://www.sindacucar-al.com.br/dados-estatisticos>>. Acesso em 07 de novembro de 2012.

SKINNER, J. C.; HOGARTH, D. M.; WU, K. K. Selection methods, criteria, and indices. In: HEINZ, D. J. (Ed.). **Sugarcane Improvement through Breeding**. Amsterdam: Elsevier, 1987. p. 409-453.

SOUSA, A. J. R. Avaliação de novos clones e variedades de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas. In: XXX Simpósio da Agroindústria da Cana-de-açúcar de Alagoas. STAB Regional Leste - UFAL. Maceió, 2013. Palestra disponível em <<http://www.fersucro.com.br/simposio/palestras/agricola.asp>>. Acesso em: 27 set. 2013.

SOUZA, I. C. Variedades de cana: compensa investir? **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 23, n. 6, 2005. p. 9-10.

SOUZA, J. L.; MOURA FILHO, G.; LYRA, R. F. F.; TEODORO, I.; SANTOS, E. A.; SILVA, J. L.; SILVA, P. R. T.; CARDIM, A. H.; AMORIM, E. C. Análise da precipitação pluvial e temperatura do ar na região do tabuleiro costeiro de Maceió, AL, período de 1972-2001. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.12, p. 131-141, 2004.

STUPIELLO, J. P. A Fisiologia da Cana-de-açúcar dentro da Fábrica. In: Seminário Internacional de Fisiologia da Cana-de-açúcar, 2000, Piracicaba. **Apresentações...** Piracicaba: STAB, 2000. [CD-ROM].

TEODORO, I.; SOUZA, J. L.; BARBOSA, G. V. S.; MOURA FILHO, G.; DANTAS NETO, J.; ABREU, M. L. Crescimento e produtividade da cana-de-açúcar em cultivo de sequeiro nos tabuleiros costeiros de Alagoas. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba**, v.27, p. 46-49, 2009.

TEW, T. L., COBILL, R. M. Genetic improvement of sugarcane (*Saccharum* spp.) as an energy crop. In: VERMERRIS, W. (Ed.). **Genetic Improvement of Bioenergy Crops**. New York, Springer, 2008. p. 249-272.

TOKESHI, H. CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) Controle de Doenças. In: VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L. (Eds.) **Controle de Doenças de Plantas: grandes culturas**. Viçosa: UFV, 1997, cap.21, p. 657-751.

ULIVARRI, R.; SOPENA, R. A.; JOYA, M. I. I. Progress from breeding and variety selection programs in Argentina. In: ISSCT Breeding and germplasm workshop, 9., 2009, Queensland. **Apresentações...** Queensland: ISSCT, 2009. [CD-ROM].

VAN DILLEWINJ, C. **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botanica, v.1, 1952. 196 p.

VIVEROS, C. A.; CASSALETT, C.; AMAYA, A.; VICTORIA, J. I. A tool for programming crosses for sugarcane improvement in Cenicana. In: ISSCT Breeding and germplasm workshop, 9., 2009, Queensland. **Apresentações...** Queensland: ISSCT, 2009. [CD-ROM].

WACLAWOVSKY, A. J.; SATO, P. M.; LEMBKE, C. G.; MOORE, P. H.; SOUZA, G. M. Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content. **Plant Biotechnology Journal**, v.8, p. 263-276, 2010.

### 3      **CAPÍTULO I - MELHORAMENTO GENÉTICO DA CANA-DE-AÇÚCAR EM ALAGOAS, BRASIL: ESTRATÉGIAS E RESULTADOS DE 1975 A 2010**

#### RESUMO

O Estado de Alagoas, situado no Nordeste do Brasil, colheu 29,2 milhões de toneladas de cana-de-açúcar em 452 mil hectares na safra 2010/2011. Na safra 1975/1976, as cultivares Co331 e CB45-3, com baixos rendimentos em açúcar, ocupavam 93% dos canaviais. O desenvolvimento local das cultivares RB e a introdução de cultivares SP, que na safra 2010/2011 ocuparam mais de 90% dos canaviais, elevou significativamente o rendimento em açúcar. Este artigo analisou a contribuição do melhoramento genético da cana-de-açúcar em Alagoas de 1975 a 2010. Através dos resultados experimentais dos rendimentos de açúcar de 22 cultivares liberadas no período, confrontados com as cultivares padrões, são avaliadas as estratégias adotadas na hibridação e seleção de genótipos locais em dois períodos. Entre 1975 e 1992, o ganho anual no rendimento de açúcar foi de 80 kg ha<sup>-1</sup>. De 1993 a 2010, ocorreu aumento anual no rendimento de açúcar de 140 kg ha<sup>-1</sup>, com excepcional contribuição da cultivar RB92579.

**Palavras-chave:** *Saccharum* spp., cultivares, ganho de rendimento.

#### **GENETIC IMPROVEMENT OF SUGARCANE IN THE STATE OF ALAGOAS, BRAZIL: STRATEGIES AND RESULTS FROM 1975 TO 2010**

#### ABSTRACT

In the State of Alagoas, located in the northeast of Brazil, 29.2 million tons of sugarcane were harvested from 452,000 hectares in the 2010/2011 harvest. In 1975, the Co331 and CB45-3 cultivars had low sugar yield and occupied 95% of the sugar fields. The local development of the RB cultivars and the introduction SP cultivars, which occupied more than 90% of the sugarcane fields in the 2010/2011 harvest, has significantly increased the production of sugar. This paper analyzes the contribution of genetic improvement of the sugarcane Alagoas from 1975 to 2010. From the experimental results of the sugar yields of 22 cultivars released in the period, the adopted strategies are evaluated in the hybridization and selection of local genotypes confronted with the standard cultivars. Between 1975 and 1992, the annual gain in sugar yield was 80 kg ha<sup>-1</sup>. From 1993 to 2010, an annual increase occurred in the sugar yield of 140 kg ha<sup>-1</sup>, with an exceptional contribution from the RB92579 cultivar.

**Key words:** *Saccharum* spp., cultivar, yield gain.

### 3.1 INTRODUÇÃO

O cultivo da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp., Poaceae) coincide com 500 anos de história do Brasil. Portugal transformou esse imenso território em uma colônia agroindustrial do açúcar, com grande retorno econômico. O Estado de Alagoas, situado no Nordeste do Brasil, iniciou seu povoamento a partir de 1570 com o cultivo da cana-de-açúcar. Inúmeros engenhos produtores de açúcar foram instalados em solos férteis à margem dos rios e próximo ao litoral durante três séculos e meio, atingindo quase 1.000 unidades em 1905 (Andrade, 2010), que se transformaram nas atuais 24 usinas produtoras de açúcar, etanol e na cogeração de eletricidade (Sindaçúcar, 2012).

O melhoramento genético teve grande contribuição para essa cadeia produtiva. O cultivo das variedades Crioula, Caiana, Roxa, Rosa, Ubá e Cristalina, predominou por mais de três séculos. No início do século XX foram introduzidos os primeiros híbridos POJ (Java/Indonésia), Co (Coimbatore/Índia) e CP (Canal Point/USA). A partir de 1950 foram plantadas as cultivares brasileiras CB (Campos Brasil) e IAC (Instituto Agrônomo de Campinas). No entanto, até 1985, preponderou o cultivo das variedades Co331 e CB45-3 (Andrade, 1985).

O desenvolvimento de cultivares de cana-de-açúcar em Alagoas teve início em 1967, por meio de uma parceria público-privada, objetivando elevar os rendimentos em açúcar. Estabeleceu-se um Banco de Germoplasma, realizaram-se hibridações e seleção de indivíduos superiores. Na safra 1975/1976 os canaviais eram formados predominantemente pelas cultivares Co331 e CB45-3. Nesse período foram iniciadas as primeiras colheitas de experimentos e o rendimento agrícola era de 36,5 t cana ha<sup>-1</sup> (TCH), em que para cada tonelada de cana eram recuperados 103,8 kg de Açúcares Redutores Totais (ART), perfazendo 3,8 t ART ha<sup>-1</sup> (TARTH). Na safra 2010/2011 predominaram as cultivares RB (República do Brasil) com 60% e SP (São Paulo) com 30%, com médias de rendimentos de 66 TCH e para cada tonelada de cana foram recuperados 135,2 kg ART, resultando 8,9 TARTH (Sindaçúcar, 2012).

No melhoramento genético da cana-de-açúcar objetiva-se obter clones superiores em rendimento de açúcar. Dois componentes são fundamentais: a massa do colmo e o conteúdo de açúcar por massa de colmo (Landell e Bressiani, 2008). Decorrido mais de um século do desenvolvimento dos primeiros híbridos, a obtenção de cultivares com altos rendimentos em açúcar continua sendo um grande desafio, em consequência, principalmente, pela complexidade do genoma cana, que tem altos graus de poliploidia e aneuploidia (Piperidis et al., 2010). Os



híbridos atuais, com número de cromossomos que varia entre 100 a 130, têm origem nos cruzamentos genéticos do início do século XX entre descendentes de *Saccharum officinarum* e seus parentes silvestres *S. spontaneum*, *S. sinense* ou *S. barberi*, que foram retrocruzados com *S. officinarum*, num processo denominado de nobilitação (Berding et al., 2004; Edmé et al., 2005; Ming et al., 2006).

Programas de melhoramento relatam aumento de rendimento médio em açúcar entre 1 e 2% ao ano (Berding et al., 2004; Ming et al., 2006). Observa-se que massa do colmo por unidade de área foi o componente que teve maior participação no ganho genético nas últimas décadas (Jackson, 2005; Cox e Stringer, 2006). Também é revelada grande contribuição da seleção recorrente, estratégia que usa o mais rápido possível os novos clones superiores como genitores (Breaux, 1984; Cox e Stringer, 2006; Lingle et al., 2010). De outra parte, existem afirmações do alcance do limite na acumulação de sacarose da cana (Jackson, 2005; Lingle et al., 2010).

Este artigo objetivou apresentar a contribuição do melhoramento genético da cana-de-açúcar em Alagoas entre 1975 e 2010, considerando dois períodos de realização dos ensaios de competição de cultivares (1975 a 1992 e 1993 a 2010). Para este fim foram feitas análises dos resultados experimentais dos rendimentos de 22 cultivares liberadas ou introduzidas nesse período, contrastadas com as cultivares padrões, sendo avaliada a estratégia adotada na hibridação e seleção de genótipos locais. Com isto, defende-se a hipótese de que grande parte das conquistas de rendimento em açúcar das indústrias de Alagoas se deveu a adoção dessas tecnologias.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 O AMBIENTE DE PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR DE ALAGOAS

A cana-de-açúcar ocupa de 15 a 20% das terras de Alagoas. O relevo é formado por 70% de tabuleiros costeiros, 27% de encostas e 3% de várzeas. Os solos mais comuns são “Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico” e “Argissolo Vermelho Amarelo”. O clima é tropical quente subúmido, com pluviosidade média anual de 1.764 mm (mínimo anual de 902 mm e máximo anual de 2.370 mm), distribuídos irregularmente em duas estações: uma chuvosa, de outono a inverno; e uma seca, de primavera a verão (Sindaçúcar, 2012).

### 3.2.2 ESTRATÉGIAS E CULTIVARES AVALIADAS NOS EXPERIMENTOS

As estratégias do melhoramento genético da cana-de-açúcar em Alagoas se procederam distintamente em dois períodos: Período 1 (1975 a 1992) – obtenção de cultivares com maior teor de sacarose; para realizar este período foram introduzidas cultivares de outros centros de pesquisa com esta característica e fizeram-se hibridações, seguindo as fases de seleção e experimentação. Período 2 (1993 a 2010) - estratégia de elevação do rendimento agrícola das cultivares com maior teor de sacarose obtidas no Período 1; foram realizadas hibridações destes genótipos com outros de maior rendimento agrícola, além da introdução de outras cultivares, seguindo as fases de seleção e experimentação.

Escolheram-se 22 principais cultivares que foram liberadas/recomendadas para o plantio comercial em Alagoas entre 1975 e 2010 - aquelas que tinham acima de 3% da área canavieira alagoana em pelo menos uma safra. Dentre estas, 11 participaram dos experimentos no primeiro período, além da CB45-3, que foi utilizada como padrão de contraste; duas destas cultivares foram importadas e testadas pelo Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar (PLANALSUCAR): Co997, da Índia e NA56-79, da Argentina; quatro foram introduzidas do Programa da Cooperativa de Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (COPERSUCAR) e testadas pelo Núcleo de Absorção e Transferência de Tecnologia (NATT) da Cooperativa Regional dos Produtores de Açúcar e Álcool de Alagoas (CRPAAA): SP70-1143, SP71-1406, SP71-6949 e SP79-1011; e cinco obtidas e testadas em Alagoas pelo PLANALSUCAR e pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL), integrante da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA): RB70141, RB70194, RB72454, RB75126 e RB83102. As outras 11 cultivares fizeram parte dos experimentos no segundo período, além da SP79-1011, padrão de contraste; dessas 11, duas foram introduzidas da COPERSUCAR e testadas pelo NATT/CRPAAA: SP78-4764 e SP81-3250; uma obtida pela usina Triunfo, de Alagoas e testada pelo NATT/CRPAAA: VAT90-212; uma introduzida do programa da RIDESA/UFV (Universidade Federal de Viçosa), e testada pela RIDESA/UFAL: RB867515; e sete obtidas e testadas pela RIDESA/UFAL: RB92579, RB93509, RB931011, RB931003, RB951541, RB98710 e RB99395 (Tabela 1).

No desenvolvimento de cultivares RB do programa RIDESA, as hibridações são feitas na Estação de Floração e Cruzamento Serra do Ouro (Murici–Alagoas, 9°13'S; 35°50'W). No programa RIDESA/UFAL são distribuídos cerca de 300 mil *seedlings* por ano em cultivo sem irrigação em oito ambientes distintos (combinação de locais x época de plantio), seguido das fases de seleção fenotípica: fase T<sub>1</sub> (seleção massal individual em cana-planta), fase T<sub>2</sub> (seleção

de clones em cana-soca), MT<sub>2</sub> (Multiplicação dos clones selecionados em T<sub>2</sub>) e fase T<sub>3</sub> (seleção com resultados de colheita de clones em cana-planta, soca e ressoca), FE (fase de experimentação, com colheita em cana-planta, soca e ressoca), CM (curva de maturação) e avaliação de doenças nas diversas fases de seleção. Na seleção de clones com maior rendimento em açúcar, também são consideradas as características de tolerância a seca e não florescimento.

Tabela 1. Período da realização dos ensaios, cultivar padrão do período, cultivar introduzida e/ou liberada em Alagoas de 1975 a 2010, seus genitores feminino (F) e masculino (M), instituição obtentora, ano da introdução (I) ou liberação (L) e número de ensaios colhidos (EC).

PERÍODO*	PADRÃO	CULTIVAR	GENITORES (F x M)**	INSTITUIÇÃO OBTENTORA	ANO (I/L)	EC
1975 a 1992	CB45-3	NA56-79	Co419 x SELF	Salta, Norte Argentina	1977 (I)	53
		Co997	Co683 x P63/32	SBI, Coimbatore/India	1977 (I)	71
		RB70141	? x ?	PLANALSUCAR	1977 (L)	29
		RB70194	Co331 x ?	PLANALSUCAR	1977 (L)	45
		RB72454	CP53-76 x ?	PLANALSUCAR	1986 (L)	81
		SP70-1143	IAC48/65 x ?	COPERSUCAR	1986 (I)	28
		SP71-1406	NA56-79 x ?	COPERSUCAR	1986 (I)	73
		RB75126	C278 x ?	RIDESA/UFAL	1993 (L)	30
		RB83102	NA56-79 x SP70-1143	RIDESA/UFAL	1993 (L)	38
		SP71-6949	NA56-79 x ?	COPERSUCAR	1993 (I)	32
		SP79-1011	NA56-79 x Co775	COPERSUCAR	1993 (I)	30
1993 a 2010	SP79-1011	SP78-4764	H56-2954 x ?	COPERSUCAR	2000 (I)	41
		SP81-3250	CP70-1547 x SP71-1279	COPERSUCAR	2000 (I)	42
		VAT90-212	? x ?	USINA TRIUNFO, Alagoas	2000 (I)	43
		RB867515	RB72454 x ?	RIDESA/UFV	2001 (I)	40
		RB92579	RB75126 x RB72199	RIDESA/UFAL	2003 (L)	117
		RB93509	RB72454 x ?	RIDESA/UFAL	2003 (L)	49
		RB931003	RB72454 x RB835089	RIDESA/UFAL	2010 (L)	42
		RB931011	RB83160 x RB72454	RIDESA/UFAL	2010 (L)	40
		RB951541	RB72454 x SP79-1011	RIDESA/UFAL	2010 (L)	57
		RB98710	SP81-3250 x RB93509	RIDESA/UFAL	2010 (L)	58
		RB99395	RB867515 x ?	RIDESA/UFAL	2010 (L)	31

(\*): Período da realização dos ensaios; (\*\*): ? - genitor desconhecido.

### 3.2.3 VARIÁVEIS, ANÁLISE ESTATÍSTICA E GANHO DE RENDIMENTO EM AÇÚCAR

Analisaram-se as seguintes variáveis: teor de sacarose aparente do caldo da cana (Pol % caldo - POL), t cana ha<sup>-1</sup> (TCH) e t POL ha<sup>-1</sup> (TPH), com base nas médias de colheitas de cana-planta, cana-soca e cana-ressoca dos experimentos, obtidos em relatórios do PLANALSUCAR, NATT/CRPAAA e RIDESA/UFAL. Num mesmo período, cada cultivar participou concomitantemente em vários experimentos com a respectiva cultivar padrão. Considerou-se, dentro de cada período, o conjunto de todos os dados de dois grupos de cultivares: liberadas (cl) e padrão (cp). Para fins de análise de variância e estimativas das médias, adotou-se o modelo linear de classificação hierárquica em dois estágios (Montgomery, 2001), conforme seja:

$$y_{ikj} = \mu + \tau_i + \vartheta_{k(i)} + \varepsilon_{(ik)j}$$

Em que,

$y_{ikj}$  é o valor observado no i-ésimo período ( $i = 1, 2$ ), do k-ésimo grupo de cultivares ( $k = 1, 2$ ) e associada a j-ésima repetição ( $j = 1, 2, \dots, n_{ik}$ );

$\mu$  é a média geral;

$\tau_i$  é o efeito do período i;  $i = 1$ , de 1975 a 1992 e  $i = 2$ , de 1993 a 2010, considerado de efeito fixo;

$\vartheta_{k(i)}$  é o efeito do grupo de cultivares k dentro do período i;  $k = 1$ , as cultivares liberadas (cl) e  $k = 2$ , a cultivar padrão (cp), considerado de efeito fixo;

$\varepsilon_{(ik)j}$  é o erro, aleatório, independente, com média 0 e variância  $\sigma^2$ .

Dentro de cada período aplicou-se o teste F para confrontar as médias dos grupos de cultivares (liberadas e padrão); estimaram-se as médias dos dois grupos e a diferença entre elas, que é uma estimativa de ganho genético aparente de rendimento, considerando-se que os efeitos agronômicos, genéticos e ambientais não são separáveis (Perecin et. al, 2009). Para cada variável e em cada período construíram-se gráficos de colunas das médias das cultivares liberadas com os respectivos erros padrão, além de ser referenciada a média da cultivar padrão.

### 3.3 RESULTADOS

#### 3.3.1 GANHO DE RENDIMENTO EM AÇÚCAR

Os resultados indicaram que no primeiro período foi exitosa a estratégia de incrementar o rendimento em açúcar por meio da elevação do conteúdo de sacarose. O teste F revelou resultado altamente significativo no confronto das médias de POL ( $p < 0,001$ ) entre as cultivares liberadas (15,10) e a CB45-3 (14,05); observou-se a diferença de 1,05 POL no período, ou 7,47%. Com isto, verificou-se que anualmente houve um aumento de 0,06 POL, ou 0,42% (Tabela 2). Nota-se ainda que todas as cultivares tiveram médias de POL superiores a cultivar padrão, com destaque da RB83102 e SP79-1011 (Figura 1a). Depreende-se que neste período esta variável foi a que mais contribuiu no acréscimo do rendimento em açúcar, pois não ocorreu diferença significativa em TCH, apesar de RB83102 e RB75126 apresentarem altas médias (Figura 1c). As cultivares liberadas renderam em média 15,58 TPH, contra 14,13 TPH da CB45-3, diferença muito significativa de 1,45 TPH ( $p < 0,001$ ), ou de 10,26%, que equivaleu a ganho

anual de 80 kg de açúcar por hectare, com crescimento anual de 0,57%. Destaque é conferido as cultivares RB83102 e RB75126, que obtiveram os melhores rendimentos em TPH (Figura 1e).

Tabela 2. Resultados da análise estatística das variáveis Pol % caldo (POL), t cana ha<sup>-1</sup> (TCH) e t POL ha<sup>-1</sup> (TPH), dos ensaios colhidos (EC) com as 22 cultivares de cana-de-açúcar introduzidas ou liberadas em Alagoas em dois períodos de realização dos ensaios (1975 a 1992 e 1993 a 2010). Estimativas de F, médias, e diferenças de ganhos das cultivares liberadas (cl) em relação a cultivar padrão (cp).

VARIÁVEL	ESTATÍSTICA	PERÍODO	
		1975 a 1992	1993 a 2010
POL	EC	510	560
	teste F (cl x cp)	188,70 ***	0,21 ns
	Média cl	15,10	15,89
	Média cp	14,05	15,85
	Diferença	1,05 ***	0,04 ns
	Diferença (%)	7,47	0,25
	Diferença anual	0,06	0,00
	Diferença anual (%)	0,42	0,01
TCH	EC	510	560
	teste F (cl x cp)	2,70 ns	111,52 ***
	Média cl	103,18	120,35
	Média cp	100,73	105,27
	Diferença	2,45 ns	15,08 ***
	Diferença (%)	2,43	14,33
	Diferença anual	0,14	0,84
	Diferença anual (%)	0,14	0,80
TPH	EC	510	560
	teste F (cl x cp)	35,02 ***	108,82 ***
	Média cl	15,58	19,13
	Média cp	14,13	16,69
	Diferença	1,45 ***	2,44 ***
	Diferença (%)	10,26	14,62
	Diferença anual	0,08	0,14
	Diferença anual (%)	0,57	0,81

\*\*\*: significativo a 0,1 % de probabilidade de erro pelo teste F;

ns: não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

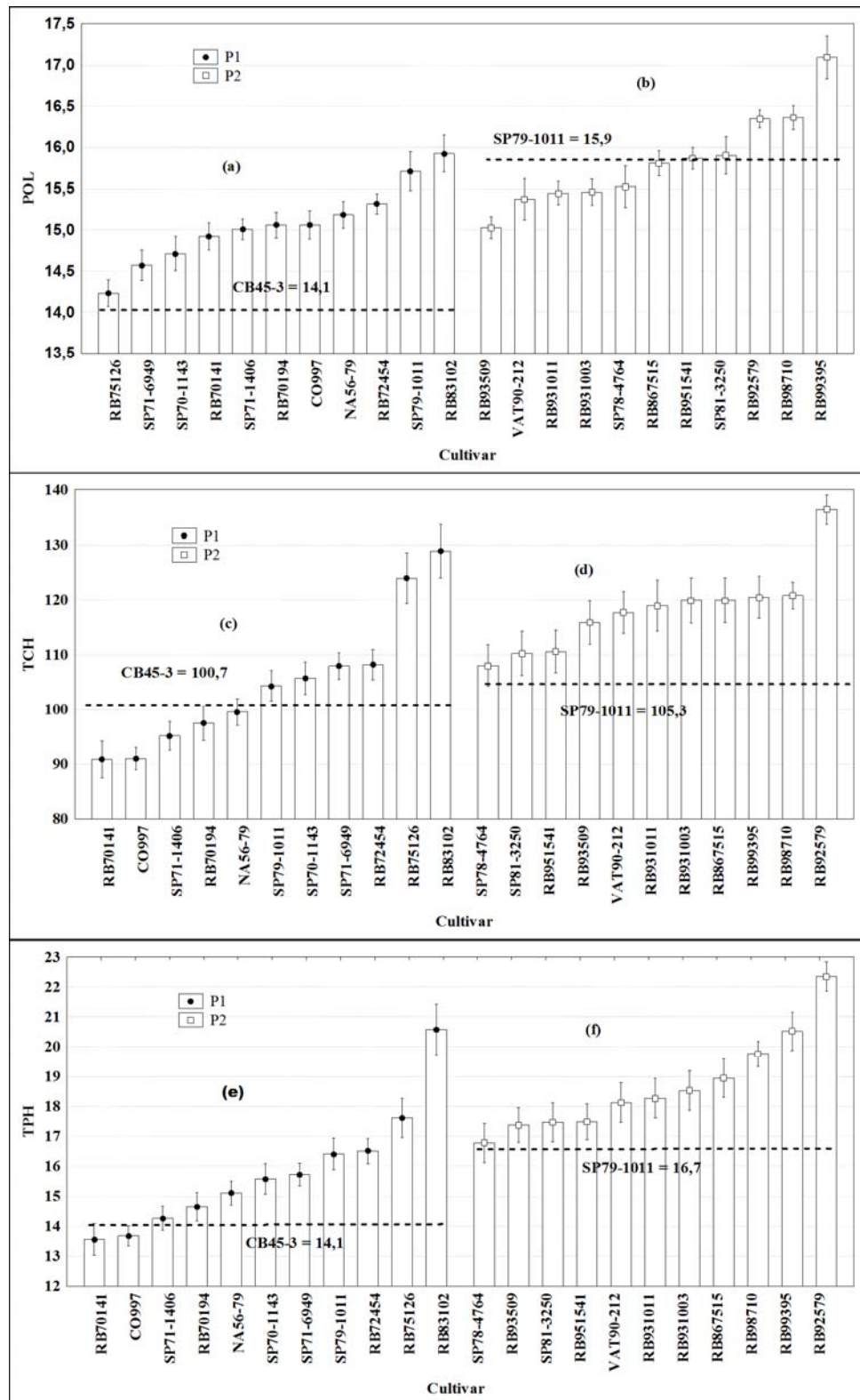


Figura 1. Desempenho médio das cultivares introduzidas/liberadas em Alagoas e respectivos padrões nos experimentos, de acordo com o período de realização das pesquisas (P1: 1975 a 1992 e P2: 1993 a 2010), para as características Pol % caldo - POL (a, b), t cana ha<sup>-1</sup> - TCH (c, d) e t POL ha<sup>-1</sup> - TPH (e, f).

O sucesso do melhoramento foi bem maior com a estratégia do segundo período, desta feita por meio do aumento expressivo de TCH das cultivares liberadas. Enquanto a SP79-1011 rendeu 105,27 TCH, as cultivares liberadas apresentaram média de 120,35 TCH, diferença de 15,08 TCH ( $p < 0,001$ ), ou 14,33% superior. Anualmente aumentou 0,84 TCH ou 0,80%. O incremento de 2,44 TPH em relação a cultivar padrão foi altamente significativo ( $p < 0,001$ ), cresceu 14,62% e indicou ganho anual de 140 kg de açúcar por hectare, ou 0,81% (Tabela 2). Nesse período não ocorreu conquista significativa em POL, apesar de RB99395, RB98710 e RB92579 apresentarem valores bem maiores que a SP79-1011 (Figura 1b). Percebe-se que todas as cultivares tiveram médias de rendimento agrícola superiores a SP79-1011. Registre-se a expressiva contribuição da RB92579 (Figura 1d), que alcançou o maior rendimento em açúcar (Figura 1f).

### 3.3.2 USO DE PARENTAIS

É importante ressaltar que entre as cultivares avaliadas de 1975 a 1992 (Tabela 1), apenas a RB83102 tem genitor brasileiro (SP70-1143). As demais são descendentes de cultivares estrangeiras que foram obtidas até a metade do século XX. A cultivar NA56-79 - apesar do baixo rendimento em açúcar nos ensaios - é genitora de quatro cultivares desse período (SP71-1406, SP71-6949, SP79-1011 e RB83102). Vê-se ainda que no período de 1993 a 2010, apenas a cultivar SP78-4764 tem genitor estrangeiro obtido também até a metade do século XX. Positivamente nove cultivares têm genitores brasileiros que foram obtidos já no final do século XX (Tabela 1). A RB92579, liberada no segundo período, foi a que apresentou o melhor resultado em rendimento de açúcar. Tem como genitores a cultivar RB75126 (receptora de pólen), que foi a segunda colocada em rendimento agrícola no primeiro período, e o clone RB72199 (fornecedor de pólen), que tem alto teor em sacarose. Este clone é usado frequentemente nas hibridações da RIDESA/UFAL. Registre-se ainda que além de contribuir como genitora de quatro cultivares no primeiro período, a NA56-79 é ancestral de RB931003 e RB931011. Ressalte-se também que essa cultivar teve grande contribuição na elevação dos rendimentos em açúcar no Brasil na década de oitenta do século XX (Landell e Bressiani, 2008), e que ocupou 27,5% dos canaviais brasileiros em 1985 (Barbosa et al., 2012). Outro resultado de grande relevância é a capacidade de produção de descendentes superiores da RB72454, pois figura como ancestral de sete cultivares liberadas no segundo período, sendo cinco de primeira geração - RB867515, RB93509, RB931003, RB931011 e RB951541 -, e duas de segunda geração - RB98710 e RB99395.

### 3.4 DISCUSSÃO

#### 3.4.1 GANHO DE RENDIMENTO EM AÇÚCAR

O ganho do rendimento em açúcar foi um dos avanços alcançados pelo melhoramento genético associado às práticas de manejo. Tem sido incrementado em muitos países com a substituição periódica de cultivares (Ming et al., 2006). Diversos estudos examinam o impacto do melhoramento de plantas na produtividade das culturas (Cox e Stringer, 2007). Programas mundiais de melhoramento relatam ganho expressivo de rendimento em açúcar, mas muitas vezes ele é confundido com os efeitos negativos e positivos dos fatores agronômicos e ambientais (Heinz, 1987). Segundo Berding e Skinner (1987), esse ganho foi de 1,1% ao ano na indústria açucareira do Havaí para o período 1908 a 1984. Em Barbados, Simmonds (1979) estimou em 0,64% ao ano o ganho devido ao melhoramento genético, que foi maior em biomassa que no conteúdo de açúcar da cana. Na indústria açucareira de Queensland/Austrália entre os anos de 1948 a 1975, o acréscimo desse ganho foi de 1,9% ao ano, sendo que a metade foi atribuída ao melhoramento genético (Berding et al., 2004). As cultivares liberadas na Austrália entre os anos de 1946 a 1994 incrementaram o rendimento anual de açúcar de 0,120 t ha<sup>-1</sup> na condição de cultivo não irrigado e 0,140 t ha<sup>-1</sup>, quando irrigado (Chapman, 1996). Conforme Cox e Stringer (2007), nessa região, para as cultivares liberadas de 1960 a 1989 houve um ganho de 0,119 t ha<sup>-1</sup> de açúcar ao ano e para as cultivares liberadas entre 1975 a 2004, houve um ganho anual de 0,231 t ha<sup>-1</sup> de açúcar. No entanto, há que se considerar o uso da irrigação da cana nessa região (Kimbeng e Cox, 2003). Na Flórida/USA, de 1968 a 2002, os resultados experimentais indicaram conquista média anual de 0,160 t ha<sup>-1</sup> de açúcar, correspondente, em média, a 1,6% ao ano (Edmé et. al., 2005).

No Brasil, de 1970 a 2011, houve incremento anual de rendimento em açúcar de 0,156 t ha<sup>-1</sup>, equivalente a um ganho médio de 4% ao ano (Barbosa et al., 2012). Os autores consideraram que 50% desse índice se deveu a substituição contínua de cultivares, o que representou contribuição de 350 milhões de reais (US\$175 milhões) referente a área colhida de nove milhões de hectares, em 2011. Entre 1996 a 2006, Burnquist et al. (2010) estimaram elevação anual em rendimento de açúcar de 0,140 t ha<sup>-1</sup> nas indústrias de São Paulo. Mas, para o mesmo período, os autores não observaram ganhos nas indústrias da Austrália e da África do Sul.

O crescimento de rendimento em açúcar verificado através dos experimentos das 22 cultivares liberadas ou introduzidas em Alagoas indica ser bem maior no período 1993 a 2010.



Esse ganho é análogo aos obtidos por outros programas mundiais de melhoramento da cana. No entanto, se fossem consideradas apenas as cultivares destaque de rendimento dos ensaios, ou as cultivares que tiveram maior adoção pelos produtores, o resultado seria bem mais expressivo. Ademais, conforme dados do Sindaçúcar (2012), a elevação anual em rendimento em açúcar das indústrias de Alagoas entre as safras 1975/1976 e 2010/2011 foi, em média, de 0,142 t ha<sup>-1</sup>. No entanto, considerando o período entre as safras 1993/1994 e 2010/2011, a elevação foi de 0,261 t ha<sup>-1</sup>. Estes valores são compatíveis com o ganho de rendimento observado neste estudo, confirmando a hipótese estabelecida nesta pesquisa.

Lingle et al. (2010) admitem que há um limite aparente na acumulação de sacarose da cana-de-açúcar na Louisiana/USA. No entanto, Edmé et al. (2005), em estudo na Flórida/USA, contradisseram com essa afirmação, pois não evidenciaram um platô de conteúdo de sacarose da cana e de rendimento de açúcar das novas cultivares. Berding et al. (2004) e Moore (2005) afirmam que em um século houve grande crescimento de rendimento comercial em açúcar na Austrália, mas é possível que já tenha atingido um máximo. Jackson (2005) discorre que nas últimas quatro décadas os aumentos de rendimento de açúcar na Austrália foram decorrentes de cultivares mais produtivas em TCH, sem ter melhoria do conteúdo de sacarose. Este autor afirma ainda que teoricamente a seleção de clones de cana-de-açúcar visando aumentar o teor de açúcar é mais eficaz que a seleção de clones com maior TCH. É importante assinalar que os resultados de ganho no rendimento em açúcar indicando maior participação no componente TCH e menor no componente teor de açúcar contradiz com as magnitudes de estimativas de herdabilidade para os dois caracteres. Conforme Skinner et al. (1987), o caráter teor de açúcar (estimado pelo teor de sólidos solúveis totais - Brix) tem média a alta magnitude, com valores de 0,65 para seleção de indivíduos e de 0,90 para seleção de famílias, enquanto o caráter TCH tem baixa magnitude, com valores abaixo de 0,17 para seleção de indivíduos e 0,90 para seleção de famílias.

Em razão desses resultados experimentais de Alagoas, leva-se a acreditar ainda não haver um limite máximo de acumulação de sacarose, e isto sugere ser possível galgar resultados para esta característica com o uso das cultivares RB98710 e RB99395 nas futuras hibridações. Entretanto, com relação à TCH, o maior desafio é obter acréscimos futuros em relação a RB92579, cultivar de maior destaque neste estudo, e que é utilizada atualmente como padrão pelo programa RIDESA/UFAL. Ademais, a RB92579 continua apresentando resultados consistentemente acima dos demais genótipos (clones e cultivares), tanto em experimentos, como em canaviais comerciais.

### 3.4.2 USO DE PARENTAIS

Burnquist et al. (2010) enfatizam a necessidade de serem desenvolvidas cultivares apropriadas em cada ambiente de produção, pois a aplicação das estratégias e operacionalização do melhoramento genético da cana-de-açúcar de uma região pode não ter o mesmo resultado em outra. Os programas mundiais diferem na estratégia do uso de parentais nas hibridizações; na Austrália e em Barbados são usadas frequentemente espécies básicas do complexo *Saccharum*; alguns programas usam consistentemente híbridos estrangeiros; mas a maioria dos programas usam preferencialmente clones selecionados no próprio local (Ming et al., 2006). Esta prática foi também adotada no programa RIDESA (Barbosa e Silveira, 2010).

A base do ganho genético conquistado pelos híbridos atuais tem origem nos cruzamentos entre clones POJ e Co realizados na primeira metade do século XX (Heinz, 1987). É importante frisar que na África do Sul, antes de 1955, predominavam as cultivares da sigla Co. A importação de cariopses de Coimbatore/Índia e seleção local de clones deram origem a importantes cultivares da sigla NCo, pois que quando hibridizadas com outros genótipos deram origem as cultivares da sigla N (Natal), que são hoje amplamente plantadas (Burnquist et al., 2010). Já na Austrália, as cultivares Q representam atualmente 98% da área plantada. O programa de cultivares Q, na primeira fase de seleção usa a estratégia da combinação de seleção de famílias e de clones elite dentro de famílias, com altos ganhos em rendimento de açúcar (Kimbeng e Cox, 2003; Berding et al., 2004). Esse critério, além de ser mais eficaz, gera informações genéticas de cruzamentos provados para as hibridizações das séries seguintes (Barbosa e Silveira, 2010; Oliveira et al., 2011). A seleção recorrente também é empregada na obtenção de cultivar precoce e de maior teor de sacarose (Cox e Stringer, 2006).

Fato semelhante ocorreu no Brasil. Antes de 1975, plantavam-se cultivares das siglas Co, CP, NA, CB e IAC. As primeiras cultivares RB e SP, que dominaram os plantios entre 1980 e 2000 tiveram suas origens em hibridações desses genótipos importados. Ressalte-se ainda que nos cruzamentos para a obtenção das principais cultivares RB plantadas entre 2000 e 2010, foi usado pelo menos um parental do próprio programa RB. Registre-se que a RB72454 é genitora de 23 cultivares RB entre as 78 liberadas no Brasil até 2010. Merece destaque o grande desempenho de rendimento em açúcar da RB72454 relatado por Hoffmann et al. (1999), observado em experimentos realizados em São Paulo, incrementos de 35% em TPH em relação à Co290, ganho de 1% ao ano, do período de 35 anos que separa a máxima adoção da RB72454 ao descarte da Co290. Fato também relevante é que em 2010, no Brasil, as cultivares RB ocuparam 60% da área colhida (Barbosa et al., 2012).

Discutiu-se neste artigo a confirmação de ganhos de rendimento em açúcar de cultivares liberadas ou introduzidas em Alagoas em quatro décadas. Esses resultados foram alcançados com a prática de um modelo de parceria público-privada, que uniu a competência das instituições de pesquisa em gerar conhecimento e inovação, com a capacidade do setor produtivo em aportar recursos financeiros na viabilização dessas pesquisas. Ainda não se evidenciou um limite de rendimento de açúcar, indicando que a continuidade da obtenção de cultivares RB em Alagoas sustentada nesse modelo de parceria, e no esquema de pesquisa adotado pela RIDESA/UFAL, pode gerar resultados ainda mais promissores, e atingir rendimento de açúcar ainda maiores para as cultivares a serem liberadas nos próximos anos. Além do mais, as evidências deste estudo permitem pressupor que o emprego da estratégia de hibridações usando como parentais cultivares RB de alto rendimento em biomassa com clones de *S. spontaneum*, possibilitará selecionar futuras cultivares com alto rendimento em biomassa e elevado teor de fibra e assim atender a demanda atual de “cana energia”.

### 3.5 CONCLUSÕES

As estratégias empregadas no melhoramento genético em relação ao ganho de rendimento de açúcar tiveram grande êxito nas pesquisas experimentais realizadas em Alagoas. Houve um aumento anual no rendimento de açúcar de 80 kg ha<sup>-1</sup> no período de 1975 a 1992, empregando-se a estratégia de incrementar o teor de sacarose. Observou-se crescimento anual no rendimento de açúcar de 140 kg ha<sup>-1</sup> no período de 1993 a 2010, aplicando-se a estratégia de elevar o rendimento agrícola.

### REFERÊNCIAS

- Andrade, J. A., 1985. Escorço histórico de antigas variedades de cana-de-açúcar. Maceió. ASPLANA, 288p.
- Andrade, M. C., 2010. Usinas e destilarias de Alagoas. Maceió. Edufal, 2ª ed., 140p.
- Barbosa, M. H. P., Silveira, L. C. I., 2010. Melhoramento genético e recomendação de cultivares. In: Santos, F., Borém, A., Caldas, C. (Eds.) Cana-de-açúcar: Bioenergia, açúcar e álcool – tecnologias e perspectivas. Viçosa. UFV, 313-331.
- Barbosa, M. H. P., Resende, M.D.V., Dias, L.A.S., Barbosa, G.V.S., Oliveira, R.A., Peternelli, L.A., Daros, E., 2012. Melhoramento genético da cana-de-açúcar para bioenergia: a experiência brasileira de pesquisa em rede com a RIDESA. Crop Breeding and Applied Biotechnology S2: 87-98.

- Berding, N., Skinner, J.C., 1987. Traditional breeding methods. In: COPERSUCAR International Sugarcane Breeding Workshop. COPERSUCAR, Piracicaba, 269–320.
- Berding, N., Hogarth M., Cox, M., 2004. Plant Improvement of Sugarcane, In: James, G.L. (Ed.) Sugarcane. Victoria. Blackwell Science, 2<sup>a</sup> ed., 20-53.
- Breaux, R.D., 1984. Breeding to enhance sucrose content of sugarcane varieties in Louisiana. *Field Crops Research* 9, 59–67.
- Burnquist, W.L., Redshaw, K., Gilmour, R.F., 2010. Evaluating sugarcane R&D performance: evaluation of three breeding programs. In: *Proceedings of the International Society Sugar Cane Technologists* 27, 1–15.
- Chapman, L. S., 1996. Increase in sugar yield from plant breeding from 1946 to 1994. In: Wilson JR, Hogarth D.M., Campbell J.A. and Garside A.L. (Eds.) Sugarcane: Research Towards Efficient and Sustainable Production. Brisbane. CSIRO Division of Tropical Crops and Pastures, 37-38.
- Cox, M.C., Stringer, J.K., 2006. Analysis of sugarcane productivity data: increases from new cultivars and improved management in Australia. In: Mercer, C.F. (Ed.), *Proceedings of the 13th Australasian Plant Breeding Conference*, 18–21.
- Cox, M.C., Stringer, J.K., 2007. Benchmarking genetic gains from new cultivars in Queensland using productivity data. *Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists* 26, 624–631.
- Edmé, S.J., Miller, J.D., Glaz, B., Tai, P.Y.P., Comstock, J.C., 2005. Genetic contribution to yield gains in the Florida sugarcane industry across 33 years. *Crop Science* 45, 92–97.
- Heinz, D. J., 1987. Sugarcane improvement: current productivity and future opportunities. In: COPERSUCAR International Sugarcane Breeding Workshop. Piracicaba. COPERSUCAR, 55-70.
- Hoffmann, H.P, Francelli, A.L., Matsuoka, S., Masuda, Y., 1999. Contribuição de variedades de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, nos últimos cinquenta anos. In: 7<sup>o</sup> Congresso Nacional da STAB. Londrina, 49-52.
- Jackson, P.A., 2005. Breeding for improved sugar content in sugarcane. *Field Crops Research* 92, 277-290.
- Kimbeng, C.A., Cox, M.C., 2003. Early generation selection of sugarcane families and clones in Australia: a review. *Journal American Society of Sugarcane Technologists* 23, 20-39.
- Landell, M.G.A., Bressiani, J.A. 2008. Melhoramento genético, caracterização e manejo varietal. In: Dinardo-Miranda, L.L., Vasconcelos, A.C.M., Landell, M.G.A. (Eds.) Cana-de-açúcar. Campinas. IAC, 01-179.
- Lingle, S.E., Johnson, R.M., Tew, T.L., Viator, R.P., 2010. Changes in juice quality and sugarcane yield with recurrent selection for sucrose. *Field Crops Research* 118, 152-157.
- Ming, R., Moore, P. H., Wu, K.-K., D'hont, A., Glaszmann, J. C., Tew, T. L., Mirkov, T. E., da Silva, J., Jifon, J., Rai, M., Schnell, R. J., Brumbley, S. M., Lakshmanan, P., Comstock, J.

- C. and Paterson, A. H., 2006. Sugarcane improvement through breeding and biotechnology. In: J. Janick (Ed.) Plant breeding reviews. Oxford. John Wiley & Sons, 27, 15-118.
- Montgomery, D. C., 2001. Design and Analysis of Experiments. New York. John Wiley & Sons, 5<sup>a</sup> ed., 682p.
- Moore, P. H., 2005. Integration of sucrose accumulation processes across hierarchical scales: towards developing an understanding of the gene-to-crop continuum. Field Crops Research, v.92, p.119-135.
- Oliveira R. A., Daros, E., Resende M.D.V., Bessalho Filho J.C., Zambon J.L.C., Souza, T.R., Lucius, A.S.F., 2011. Procedimento Blupis e seleção massal em cana-de-açúcar. Bragantia 70, 796-800.
- Perecin, D., Landell, M. G. A., Xavier, M. A., Anjos, I. A., Bidoia, M. A. P., Silva, D., N., 2009. Progresso agrônomo e genético em programa de melhoramento de cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Biometria 27, 279-287.
- Piperidis, N, Piperidis, G., D'Hont, A., 2010. Molecular cytogenetics. In: Henry, R. J. Kole, C. (Eds.) Genetics, genomics and breeding of sugarcane. New York. Science Publishers, 09-18.
- Simmonds, N.W., 1979. The impact of plant breeding on sugarcane yields in Barbados. Tropical Agriculture, 56(4), 289-300.
- Sindaçúcar, 2012. Sindicato da Indústria do Açúcar e do Alcool no Estado de Alagoas. <<http://www.sindacucar-al.com.br>> Acessado em 07 de novembro de 2012.
- Skinner, J. C., Hogarth, D. M. & Wu, K. K., 1987. Selection methods, criteria, and indices. In: Sugarcane Improvement through Breeding (ed. D. J. Heinz), Amsterdam: Elsevier, 1987. p.409-453.

#### 4 CAPÍTULO II - SELEÇÃO RECORRENTE DA CANA-DE-AÇÚCAR EM ALAGOAS COM BASE NA CULTIVAR RB72454

##### RESUMO

Discutiu-se neste artigo a seleção recorrente da cana-de-açúcar em Alagoas com base na cultivar RB72454, através da avaliação dos rendimentos agroindustriais das variáveis Pol % caldo, t cana ha<sup>-1</sup> e t Pol ha<sup>-1</sup> de experimentos de liberação de cultivares RB pelo PLANALSUCAR/RIDESA/UFAL e confirmado num experimento realizado na safra 2012/2013. Nove cultivares participaram deste estudo: CB45-3; RB72454; 1ª geração da RB72454 (RB867515, RB93509, RB931003, RB931011 e RB951541); e 2ª geração da RB72454 (RB98710 e RB99395). No experimento 2012/2013 também foram analisados os verdadeiros teores de sacarose, glicose e frutose, que são os principais carboidratos presentes no caldo da cana, determinados por HPLC (High-performance liquid chromatography). Verificou-se que em 38 anos de pesquisa, o ganho médio de rendimento de sacarose das cultivares RB em relação à CB45-3 foi de 1,1% ao ano. Evidenciou-se a eficácia da seleção recorrente para duas gerações da RB72454. Supõe-se que não foi atingido um limite de acumulação de sacarose da cana, e que ainda há variabilidade disponível, indicando possíveis ganhos para as próximas gerações da RB72454.

**Palavras-chave:** *Saccharum* spp., melhoramento genético, cultivares de cana-de-açúcar, ganho de rendimento em sacarose, HPLC.

##### RECURRENT SELECTION OF THE SUGARCANE IN THE STATE OF ALAGOAS BASED ON THE RB72454 CULTIVAR

##### ABSTRACT

This article discusses recurrent selection of the sugarcane in the State of Alagoas based on RB72454 cultivar through the evaluation of the agroindustrial yield (Pol% Juice, t Cane ha<sup>-1</sup> and t Pol ha<sup>-1</sup>) from release experiments of RB cultivars by PLANALSUCAR/RIDESA/UFAL and confirmed in an experiment done in the 2012/2013 harvest. This study consisted of nine (9) cultivars: CB45-3; RB72454, 1st generation of the RB72454 (RB867515, RB93509, RB931003, RB931011 and RB951541); and 2nd generation of the RB72454 (RB98710 and RB99395). In the 2012/2013 experiment, the exact contents of sugars present in the juice of the sugarcane determined by HPLC (High-performance liquid chromatography): sucrose, glucose and fructose. In 38 years of research, it was observed that the RB cultivar sucrose gain in relation to CB45-3 was 1.1% per year. A large outcome of the recurrent selection for the two generations of RB72454 was observed. An accumulation limit of cane sugars has not been achieved yet, indicating a possible gain for the next generation of the RB72454.

**Key words:** *Saccharum* spp., plant breeding, cultivar, genetic improvement of sugarcane, HPLC.

## 4.1 INTRODUÇÃO

Na cana-de-açúcar, o rendimento em açúcar é resultado do melhoramento genético e do emprego de práticas de manejo (MING et al., 2006). No melhoramento genético objetiva-se selecionar clones superiores em rendimento de açúcar, sendo fundamentais dois componentes: massa do colmo e conteúdo de açúcar da massa de colmo (LANDELL e BRESSIANI, 2008).

Programas de melhoramento relatam aumento de rendimento em açúcar entre 1 e 2% ao ano (BERDING et al., 2004). No entanto, nas últimas décadas, esse ganho genético teve maior participação do componente massa do colmo (JACKSON, 2005). Para atingir esses ganhos, os diversos programas divergem na combinação de parentais usados nas hibridizações, entre espécies básicas do complexo *Saccharum*, híbridos importados e clones superiores selecionados no próprio local (MING et al., 2006). Além do mais, a seleção recorrente, estratégia que usa o mais rápido possível os novos clones superiores como genitores, tem promovido progressiva elevação de rendimento de açúcar (BRESSIANI et al., 2006). O melhor exemplo foi apresentado por BREAU (1984) na Louisiana/USA, em que populações de clones CP e L selecionados em quatro gerações apresentavam crescentes níveis de teor de sacarose, passando de 9,7% no primeiro ciclo para 14,1% no quarto ciclo. Também na Louisiana/USA, LINGLE et al. (2010) avaliaram sete gerações e observaram teor de sacarose de 11,7% na primeira e 14% na sétima geração, mas não verificaram diferenças significativas entre as três últimas gerações, sugerindo ter atingido um limite na acumulação de sacarose. BRESSIANI et al. (2006), no Brasil, verificaram que a aplicação da seleção recorrente em uma população de clones de maturação precoce e alto conteúdo em açúcar foi eficaz no aumento de rendimento em massa da cana, sem redução do teor de açúcar.

Até 1975 as variedades mais plantadas no Brasil eram das siglas CB, NA, Co e IAC. Em 1971 foi criado o PLANALSUCAR – Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar, obtentor das cultivares RB (República do Brasil), que em 1990 passou para a RIDESA – Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético. PLANALSUCAR e RIDESA liberaram 78 cultivares RB. As primeiras cultivares RB originaram-se de hibridações com genótipos importados. As cultivares RB liberadas entre 1990 a 2010 têm origem em pelo menos um parental RB, com grande contribuição da RB72454 – das 78 cultivares RB liberadas, 30 têm descendência na RB72454, sendo 23 de 1ª geração e sete de 2ª geração. Ressalte-se também que em 2011 as variedades RB ocuparam 58,9% da área colhida com cana no Brasil (BARBOSA et al., 2012).

É importante destacar que em 1970 os canaviais alagoanos eram formados predominantemente pelas variedades Co331 e CB45-3, de baixo rendimento agroindustrial (ANDRADE, 1985). Em 2011, predominaram as cultivares RB (62%), com elevação significativa desses rendimentos.

De outra parte, na determinação dos teores de açúcares, a indústria açucareira mundial estima o teor de sacarose do caldo da cana com polarímetro, equipamento que fornece com rapidez e menor custo a medida Pol % caldo (FERNANDES, 2003). Essa determinação inclui no resultado, além da sacarose, outras substâncias dextrógiras não cristalizáveis. O equipamento HPLC (High-performance liquid chromatography) determina o verdadeiro conteúdo de cada carboidrato presente no caldo do colmo da cana, principalmente sacarose, glicose e frutose (WONG-CHONG e MARTIN, 1979). Os açúcares redutores glicose e frutose, apesar de não cristalizarem, são fermentescíveis, e junto com a sacarose, produzem etanol. Necessário se faz verificar as diferenças desses carboidratos de novas cultivares obtidas por programas de melhoramento.

O presente estudo objetivou apurar o sucesso da seleção recorrente da cana-de-açúcar em Alagoas, tendo como população base a cultivar RB72454. São apresentados resultados experimentais de rendimentos agroindustriais das cultivares CB45-3, RB72454 e suas descendentes liberadas e introduzidas em Alagoas, entre 1980 a 2010. Esses resultados foram confirmados num experimento conduzido com as mesmas cultivares entre 2012/2013, usando o equipamento HPLC para a determinação dos verdadeiros teores de açúcares do caldo.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1 PROCEDIMENTOS PARA OBTENÇÃO DE CULTIVARES RB

Em Alagoas, a obtenção de cultivares RB (PLANALSUCAR/RIDESA/UFAL) tem como ponto de partida o Banco de Germoplasma da Estação de Floração e Cruzamento Serra do Ouro, em Murici-AL (lat 9°13'S; long 35°50'W; e alt 515 m). Anualmente, são produzidos milhares de *seedlings* em estufas em Rio Largo - Alagoas (lat 09°28'S, long 35°49'W; e alt 127 m), que são distribuídos em diversos ambientes, seguido das fases de seleção fenotípica: Fase T<sub>1</sub> (seleção massal em cana-planta); Fase T<sub>2</sub> (seleção em cana-soca); Fase T<sub>3</sub> (seleção com resultados de colheita em cana-planta, soca e ressoça); Fase de experimentação (ensaios



conduzidos em blocos ao acaso, com quatro repetições, parcelas de seis fileiras de cana de 6 m, colheita em cana-planta, cana-soca e cana-ressoca); e avaliação de doenças em todas as fases. As principais características utilizadas como critério de seleção de clones superiores são: elevado rendimento agrícola, alto conteúdo de açúcar do colmo, raro florescimento, resistência as principais doenças e pragas da região e tolerância ao déficit hídrico (BARBOSA et al., 2002).

#### 4.2.2 ENSAIOS DE LIBERAÇÃO, VARIÁVEIS E ANÁLISE ESTATÍSTICA

Nove cultivares participaram deste estudo: CB45-3, RB72454, 1ª geração da RB72454 (RB867515, RB93509, RB931003, RB931011 e RB951541), 2ª geração da RB72454 (RB98710 e RB99395).

CB45-3 (Co290 x Co331): obtida pelo Ministério da Agricultura no Rio de Janeiro e introduzida em Alagoas em 1955, atingiu mais da metade dos canaviais em 1985 (ANDRADE, 1985). Participou de 81 experimentos entre 1980 e 1986.

RB72454 (CP56-73 x ?): selecionada pelo PLANALSUCAR em Alagoas, teve sua liberação em 1987 e durante diversos anos foi a mais plantada em Alagoas e no Brasil (BARBOSA et al., 2012). Participou dos mesmos 81 experimentos com a CB45-3.

RB867515 (RB72454 x ?): selecionada pelo PLANALSUCAR em Minas Gerais e liberada pela RIDESA/UFV em 1997 (BARBOSA et al., 2001). Atualmente é a cultivar mais importante para o país, ocupando 22,1% da área plantada em 2011 (BARBOSA et al., 2012). Esteve presente em 40 experimentos entre 2000 e 2003.

RB93509 (RB72454 x ?): selecionada e liberada em 2003 pela RIDESA/UFAL, ocupa o quinto lugar entre as variedades mais plantadas em Alagoas. Participou entre 2000 e 2003 de 49 experimentos.

RB931003 (RB72454 x RB835089), RB931011 (RB83160 x RB72454) e RB951541 (RB72454 x SP79-1011), RB98710 (SP81-3250 x RB93509) e RB99395 (RB867515 x ?): selecionadas e liberadas em 2010 pela RIDESA/UFAL, estão em acelerado processo de plantio em Alagoas. Participaram entre 2005 e 2010 de 42, 40, 57, 58 e 31 experimentos, respectivamente.

As informações das médias de colheita dos experimentos foram extraídas dos relatórios do PLANALSUCAR (1980 a 1986) e RIDESA/UFAL (2000 a 2010). Foram avaliadas as variáveis: teor de sacarose aparente no caldo da cana (Pol % caldo - POL), rendimento agrícola (t cana ha<sup>-1</sup> - TCH) e rendimento em açúcar (t Pol ha<sup>-1</sup> - TPH). Para cada variável, estimaram-

se médias ponderadas, pelo número de ensaios colhidos, dos seguintes casos: i) cada cultivar individualmente; ii) grupo de cultivares RB; iii) grupo de cultivares descendentes da RB72454; iv) grupo de cultivares da 1ª geração da RB72454; v) grupo de cultivares da 2ª geração da RB72454. Registraram-se ainda os seguintes incrementos percentuais: i) entre médias das cultivares RB vs. CB45-3; ii) entre médias dos descendentes da RB72454 vs. RB72454; iii) entre médias da 2ª geração da RB72454 vs. 1ª geração da RB72454.

#### 4.2.3 ENSAIO 2012/2013, VARIÁVEIS E ANÁLISE ESTATÍSTICA

Em fevereiro de 2012 foi instalado um experimento com as mesmas nove cultivares, na Usina Sinimbu-AL (lat 09°46'S, long 36°06'W e alt 112 m), em um Latossolo Vermelho Amarelo Eutrófico. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. A parcela foi composta de três linhas duplas de sete metros, no espaçamento de 1,50 m x 0,80 m, com área útil de 48,3 m<sup>2</sup>. Foi feita irrigação por aspersão, aplicando-se quatro lâminas de 30 mm, sendo uma na instalação do experimento e as demais, aos nove, dez e onze meses de idade da cana. Em fevereiro de 2013, aos doze meses de idade da cana, procedeu-se a contagem de número de colmos da parcela (NCP), sendo coletadas em cada parcela, três amostras de dez colmos ao acaso. Para cada amostra obteve-se a massa de dez colmos (M10C), em kg. Com esses dois componentes de produção, estimou-se o rendimento agrícola (TCH), conforme segue:

$$TCH = \frac{NCP \times M10C}{48,3}$$

Após as pesagens, as amostras foram analisadas em laboratório. A determinação da POL foi feita com o uso de polarímetro, e os teores de sacarose, glicose e frutose do caldo da cana, por meio de HPLC. Neste estudo, foram analisados os dados das variáveis POL, SACAROSE (%), GLICOSE (%) e FRUTOSE (%). Obteve-se ainda as variável t sacarose ha<sup>-1</sup> (TSH). Procedeu-se a análise de variância de cada variável, utilizando-se o modelo em blocos acaso com três repetições por bloco. Aplicou-se o critério de SCOTT-KNOTT (1974) a 5% de probabilidade de erro, para discriminar grupos de médias de cultivares. A eficiência da seleção recorrente foi verificada com a aplicação do teste t aos contrastes de médias, bem como pelas suas diferenças percentuais: i) entre média das cultivares RB vs. CB45-3; ii) entre média dos descendentes da RB72454 vs. RB72454; e iii) entre média da 2ª geração da RB72454 vs. 1ª geração da RB72454.

Com base nas médias das nove cultivares das variáveis POL e TCH, nos dois tipos de ensaio (liberação das cultivares e 2012/2013), estimaram-se os coeficientes de correlação linear, objetivando avaliar a concordância dos resultados desses ensaios. Estimou-se, ainda, o coeficiente de correlação linear entre as variáveis POL e SACAROSE (%), considerando as médias das cultivares do ensaio 2012/2013.

#### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### 4.3.1 ENSAIOS DE LIBERAÇÃO DAS CULTIVARES

A CB45-3 apresentou os menores valores de POL, TCH e TPH (Tabela 1). O grande plantio da CB45-3 até a década de oitenta em algumas regiões produtoras do Brasil (BARBOSA et al., 2012) deveu-se ao alto valor de TCH, mas sem correspondência na POL (ANDRADE, 1985).

As cultivares RB apresentaram incrementos médios de 11,78% POL, 13,15% TCH e 26,73% TPH quando comparadas à CB45-3 (Tabela 1). O elevado teor de POL da RB72454 em relação à CB45-3 foi o fato que desencadeou o grande interesse do melhoramento genético da cana-de-açúcar em Alagoas de usar a RB72454 nas hibridações, pois havia carência de cultivares com este atributo. Ademais, esta cultivar foi a de maior potencial produtivo dentre as desenvolvidas pelo PLANALSUCAR (BARBOSA et al., 2012), com níveis de rendimento de 20 a 40% superior aos padrões (PLANALSUCAR, 1988). Registre-se que a RB72454 alcançou significativa área plantada em Alagoas entre 1990 a 2005, porém devido a sua sensibilidade à seca, que ocorre com frequência na região, apresentou rendimento agrícola não satisfatório. No entanto, adotou-se a estratégia de realizar hibridações da RB72454, que tem alto teor de sacarose, com genitores de alto rendimento agrícola e tolerantes à seca, visando obter clones superiores que herdassem estas características. Observa-se que a média das sete cultivares RB descendentes da RB72454 aumentou 3,36% POL, 8,83% TCH e 12,68% TPH em relação à RB72454 (Tabela 1).

Tabela 1. Resultados dos ensaios colhidos para liberações de cultivares de cana-de-açúcar em Alagoas no período de 1980 a 2010. Número de ensaios colhidos (EC), médias das variáveis Pol % caldo (POL), t cana ha<sup>-1</sup> (TCH) e t Pol ha<sup>-1</sup> (TPH) e incrementos (%) no confronto de médias (cultivares RB vs. CB45-3, descendentes da RB72454 vs. RB72454 e 2ª geração da RB72454 vs. 1ª geração da RB72454). 1ª geração da RB72454: RB867515, RB93509, RB931003, RB931011 e RB951541; 2ª geração da RB72454: RB98710 e RB99395.

CULTIVAR	PERÍODO	EC	VARIÁVEL		
			POL	TCH	TPH
CB45-3	1980 a 1986	81	14,07	102,32	14,34
RB72454	1980 a 1986	81	15,32	108,17	16,51
RB867515	2000 a 2003	40	15,81	119,93	18,95
RB93509	2000 a 2003	49	15,03	115,93	17,37
RB931003	2005 a 2010	42	15,46	119,92	18,53
RB931011	2005 a 2010	40	15,45	118,95	18,28
RB951541	2005 a 2010	57	15,87	110,60	17,48
RB98710	2005 a 2010	58	16,36	120,81	19,76
RB99395	2005 a 2010	31	17,09	120,47	20,52
Total / Geral		479	15,45	113,50	17,53
Cultivares RB		398	15,73	115,78	18,18
Descendentes da RB72454		317	15,83	117,72	18,60
1ª geração da RB72454		228	15,53	116,56	18,05
2ª geração da RB72454		89	16,61	120,69	20,02
----- CONTRASTES -----			----- INCREMENTOS (%) -----		
Cultivares RB vs. CB45-3			11,78	13,15	26,73
Descendentes da RB72454 vs. RB72454			3,36	8,83	12,68
2ª vs. 1ª geração da RB72454			7,01	3,54	10,94

Na 1ª geração da RB72454, as cultivares que se destacaram em POL foram RB867515 e RB951541, e em TCH e TPH, sobressaíram-se RB867515 e RB931003 (Tabela 1). É importante ressaltar que em 2011 a RB867515 ocupou a maior área plantada no Brasil (BARBOSA et al., 2012), sendo a segunda mais plantada em Alagoas. Os resultados alcançados com a primeira geração da RB72454 motivaram o melhoramento a adotar a estratégia de elevação simultânea de POL e TCH. Os potenciais de rendimento agrícola da RB867515 e RB93509 também foram explorados através de hibridações com genitores de elevado teor de sacarose. Surgiram, então, as cultivares RB98710 e RB99395, que constituíram a 2ª geração da RB72454. Verifica-se que a média desta geração, quando confrontada com a média da 1ª geração da RB72454, suplantou em 7,01% POL, 3,54% TCH e 10,94% TPH. Evidenciaram-se ainda elevadas médias de TPH para estas duas cultivares (Tabela 1). Depreende-se que, no

ganho de TPH entre as cultivares descendentes da RB72454 liberadas ou introduzidas em Alagoas, houve a maior participação de TCH na 1ª geração, enquanto os ganhos foram simultâneos em POL e TCH na 2ª geração. SHANTHI e ALARMELU (2010) registram sucesso da seleção recorrente na Índia, em dois ciclos, obtendo médias de progênes com 13,40% de incremento de POL em relação à população base. De acordo com MATSUOKA et al. (2009), as cultivares comerciais obtidas a partir dos cruzamentos entre clones em fases avançadas de seleção, ou entre cultivares comerciais, têm predominado a partir de meados do século passado. Estes autores ilustram o sucesso de cruzamentos realizados com a RB72454 para a obtenção de importantes cultivares RB liberadas. Os resultados obtidos neste estudos em Alagoas evidenciam o êxito da seleção recorrente, ainda que tenha sido realizada na época inconscientemente, e mesmo com longo intervalo entre as gerações. Ademais, implicitamente o exercício do melhoramento da cana-de-açúcar é feito na forma de seleção recorrente, pois os clones superiores, ou cultivares selecionadas são novamente usados nos cruzamentos para a geração de novas progênes (BARBOSA e SILVEIRA, 2010).

#### 4.3.2 ENSAIO 2012/2013

Houve concordância dos resultados entre os dois grupos de ensaio. As correlações lineares foram altas e significativas ( $p < 0,001$ ) para as duas variáveis comuns aos ensaios: POL ( $r=0,92$ ) e TCH ( $r=0,90$ ). Verifica-se que os resultados das médias dos ensaios de liberação das cultivares foram confirmados no ensaio 2012/2013. Além disto, a correlação entre POL e SACAROSE (%) do ensaio 2012/2013 foi altamente significativa ( $r=0,99$ ) (Tabela 2). Este resultado está de acordo com a prática rotineira da determinação da medida POL pela indústria açucareira mundial como estimativa do teor de sacarose da cana (FERNANDES, 2003). Em estudos com cultivares comerciais da sigla CP na Flórida/USA, observou-se correlação significativa ( $r=0,98$ ) entre estas duas variáveis (TAI e MILLER, 2002).

A análise de variância indicou haver diferenças significativas ( $p < 0,001$ ) entre cultivares para todas as variáveis (Tabela 2). Os coeficientes de variação (CV) foram baixos para POL, SACAROSE (%) e TCH; foram médios para TSH e altos para GLICOSE (%) e FRUTOSE (%). TAI e MILLER (2002) também obtiveram CV altos para estes dois açúcares redutores.

Para as variáveis POL e TCH, este ensaio apresentou médias gerais de 17,79 e 83,24, respectivamente. O maior valor da POL para o este ensaio em relação aos ensaios de liberação (acrécimo de 15,1%) pode ser creditado a sua época de colheita (final de safra), quando a cana atinge o máximo do teor de sacarose, enquanto nos ensaios de liberação as colheitas foram

realizadas nas diversas épocas da safra (início, meio e final). O menor valor de TCH deste ensaio em relação aos ensaios de liberação (decréscimo de 26,7%) se deveu à grande redução da precipitação pluvial do período de cultivo (1.190 mm, sendo 33% inferior à média normal da região), apesar de ter sido usada a irrigação, mas em quantidade insuficiente a demanda anual da cultura, que é de 1.500 a 2.500 mm (DOORENBOS e KASSAN, 1979).

O agrupamento das médias pelo critério de SCOTT-KNOTT (1974) discriminou diferentes grupos de médias de cultivares ( $p < 0,05$ ) para todas variáveis. Foram confirmados menores rendimentos médios agroindustriais da CB45-3. Esta cultivar pertenceu ao grupo de menores POL, SACAROSE (%), TCH e TSH. No entanto, participou dos grupos de maiores GLICOSE (%) e FRUTOSE (%). As cultivares RB99395 e RB951541 compuseram os grupos de maior SACAROSE (%) e menores GLICOSE (%) e FRUTOSE (%), indicando boa maturação e alta pureza de sacarose. O grupo com maior TCH foi constituído pelas cultivares RB931011 e RB98710. Com a combinação de TCH e SACAROSE (%), o grupo de cultivares com maior TSH foi formado por RB99395, RB98710, RB867515, RB951541 e RB931003 (Tabela 2). Pela composição de açúcares da RB98710, com menor pureza de sacarose que a RB99395 e maior nível de açúcares redutores (glicose e frutose), nota-se que, entre as duas, a RB98710 é mais apropriada para a produção de etanol. Vê-se também que a cultivar RB99395 apresentou ganho de 57,36% TSH em relação à CB45-3. Um exemplo semelhante foi relatado por DAL-BIANCO et al. (2012), onde a cultivar RB966928, liberada no ano de 2010 pela RIDESA/UFPR, apresentou nos experimentos em São Paulo, ganho de 49% no rendimento de açúcar em relação à NA56-79, cultivar que era a mais plantada na década de oitenta no Estado.

A aplicação do teste t para os três contrastes de médias indicou haver concordância dos resultados de ganhos relativos em relação aos ensaios de liberação das cultivares (Tabela 2). Para a variável SACAROSE (%) observou-se que as cultivares RB suplantaram estatisticamente à CB45-3 ( $p < 0,001$ ), com incremento médio de 24,38%. Os descendentes da RB72454 diferiram da RB72454 ( $p < 0,10$ ), com aumentos médios de 2,83%. A 2ª geração da RB72454 superou a 1ª geração em 6,60% ( $p < 0,01$ ). Verificou-se resultados semelhantes para a variável POL, o que era esperado, pois observou-se, entre estas variáveis, altíssima correlação ( $r = 0,99$ ). Notou-se que as cultivares RB apresentaram menores níveis médios dos açúcares redutores (glicose e frutose) em relação à CB45-3, indicando melhor maturação, com maior acúmulo em sacarose. Já na média das cultivares descendentes da RB72454, notou-se grande aumento de glicose e frutose em relação à RB72454 ( $p < 0,01$ ). No entanto, na 2ª geração da RB72454, observou-se haver redução desses açúcares redutores, em relação à 1ª geração ( $p < 0,001$ ).

A magnitude da média de 20,03 para a variável SACAROSE (%) das duas cultivares da 2ª geração da RB72454 (RB98710 e RB99395) pode ser considerada muito alta para cultivares comerciais. Fernandes (2003) exemplifica uma variedade com alto nível de sacarose aparente, a SP87-396, com 17,5% de POL, contrastando com a RB72454, com 15,5% de POL. Por outro lado, foi observada média de 18,7% de sacarose em cultivares comerciais da sigla CP, na Flórida/USA, determinada por meio de HPLC (TAI e MILLER, 2002). É importante salientar que nos boletins de liberação de uma cultivar, normalmente os programas de melhoramento informam apenas a POL como medida do conteúdo em açúcar (LANDELL e BRESSIANI, 2008), sem considerar açúcares redutores. No entanto, estas características também têm grande importância e deveriam constar no boletim de liberação da cultivar, visando principalmente o direcionamento do uso do genótipo – produção de açúcar e/ou etanol –, além de otimização do seu manejo.

Já para a característica rendimento agrícola (TCH), constatou-se que a média das cultivares RB superou significativamente ( $p < 0,001$ ) em 14,16% a média da CB45-3. A média das cultivares descendentes da RB72454 suplantou em 9,68% a média da RB72454 ( $p < 0,001$ ). Observou-se diferença de 3,54% entre a média da 2ª para a 1ª geração da RB72454 ( $p < 0,100$ ). Depreende-se que para esta característica, os ganhos foram menores que aqueles observados em teor de sacarose. Isto se deve ao fato da CB45-3 ter boa produtividade agrícola e baixo teor de sacarose (ANDRADE, 1985).

O rendimento em sacarose (TSH) é resultante do produto de TCH com SACAROSE (%). Uma vez que foram observados ganhos em cada uma destas características separadamente, os resultados para TSH foram muito mais expressivos. Observaram-se diferenças altamente significativos ( $p < 0,001$ ) nos três contrastes de médias. A média das cultivares RB apresentou ganho de 41,94% quando comparada com a média da CB45-3. Os descendentes da RB72454 suplantaram em 12,61% a RB72454 e a 2ª geração da RB72454 superou a 1ª geração em 10,20%.

Tabela 2. Resultados médios de 12 repetições das variáveis POL, SACAROSE (%), GLICOSE (%), FRUTOSE (%), TCH e TSH das cultivares do ensaio 2012/2013. Análise de variância, com discriminação de grupos de médias pelo critério de SCOTT-KNOTT (1974) a 5% de probabilidade de erro. Teste t para os contrastes de médias e seus incrementos percentuais. Coeficientes de correlação linear entre as médias das variáveis POL e TCH das cultivares dos ensaios de liberação e entre as médias das variáveis POL e SACAROSE (%) das cultivares do ensaio 2012/2013.

CULTIVAR <sup>(1)</sup>	VARIÁVEL					
	POL	SACAROSE (%)	GLICOSE (%)	FRUTOSE (%)	TCH	TSH
CB45-3	14,68 a	15,34 a	1,00 d	0,75 d	73,93 a	11,35 a
RB72454	17,84 c	18,62 b	0,59 b	0,46 b	77,81 a	14,51 b
RB867515	18,45 c	19,43 c	0,75 c	0,57 c	85,65 c	16,66 c
RB93509	16,75 b	17,61 b	1,25 e	0,95 f	80,92 b	14,28 b
RB931003	17,70 c	18,47 b	0,78 c	0,59 c	83,39 c	15,40 c
RB931011	17,34 c	18,20 b	0,91 d	0,69 d	90,53 d	16,48 c
RB951541	19,27 d	20,26 d	0,62 b	0,47 b	81,95 b	16,59 c
RB98710	18,24 c	19,18 c	1,08 d	0,83 e	89,51 d	17,15 c
RB99395	19,83 d	20,89 d	0,43 a	0,33 a	85,45 c	17,86 c
Média geral	17,79	18,67	0,82	0,62	83,24	15,59
QMR	0,97	0,93	0,03	0,02	48,61	2,65
teste F	27,83 ***	33,39 ***	25,26 ***	24,58 ***	6,98 ***	17,77 ***
CV (%)	5,53	5,18	21,90	22,00	8,38	10,44
CONTRASTE	ESTIMATIVA					
Cultivares RB vs. CB45-3	3,50 ***	3,74 ***	-0,20 ***	-0,14 ***	10,47 ***	4,76 ***
Descendentes da RB72454 vs. RB72454	0,38 ns	0,53 +	0,24 ***	0,17 ***	7,53 ***	1,83 ***
2ª vs. 1ª geração da RB72454	1,14 ***	1,24 **	-0,11 *	-0,08 *	2,99 +	1,62 ***
	INCREMENTO / REDUÇÃO (%)					
Cultivares RB vs. CB45-3	23,82	24,38	-19,88	-18,50	14,16	41,94
Descendentes da RB72454 vs. RB72454	2,16	2,83	40,92	37,58	9,68	12,61
2ª vs. 1ª geração da RB72454	6,33	6,60	-12,41	-11,31	3,54	10,20
CORRELAÇÕES						
POL Ensaio liberação X POL Ensaio 2012/2013: r = 0,92***						
TCH Ensaio liberação X TCH Ensaio 2012/2013: r = 0,90***						
POL Ensaio 2012/2013 X SACAROSE (%) Ensaio 2012/2013: r = 0,99***						

<sup>(1)</sup>: Médias de cultivares seguidas de mesma letra pertencem ao mesmo grupo pelo critério de Scott-Knott (1974) a 5% de probabilidade de erro.

\*\*\*, \*\*, \*, +: significativo aos níveis de 0,1%, 1%, 5% e 10% de probabilidade de erro, respectivamente, pelo teste t.

Nota-se haver concordância nas diferenças percentuais nos dois grupos de ensaios (liberação de cultivares e 2012/2013), exceto no confronto entre médias de cultivares RB contra à CB45-3 para as variáveis POL e SACAROSE (%). A diferença percentual de POL do ensaio 2012/2013 foi bem mais expressiva que a registrada nos ensaios de liberação das cultivares. Supõe-se os seguintes motivos para explicar este fato: i) perda de eficiência na acumulação dos açúcares da CB45-3 devido à presença de doenças nas quais as cultivares RB são tolerantes, principalmente a Ferrugem Marrom (*Puccinia melanocephala*), que não ocorria durante a condução dos ensaios de liberação das cultivares, mas ocorreu naturalmente durante a condução do ensaio 2012/2013; ii) resultado influenciado pelo manejo diferenciado do período de cultivo do ensaio 2012/2013 – plantio de verão, no mês de fevereiro, e colheita no final de safra, também no mês de fevereiro –, diferente dos ensaios de liberação de cultivares – plantios no



inverno, entre julho e agosto, e as colheitas entre o início e meio da safra, de setembro a dezembro. Ressalte-se que a doença Ferrugem Alaranjada (*Puccinia kuehnii*), que teve sua ocorrência relatada pela primeira vez em Alagoas em 2011 por CRUZ et al. (2012), não afetou nenhuma cultivar da cana durante a condução desse ensaio.

Complementarmente, com base nos resultados médios das cultivares do ensaio 2012/2013, depreende-se que o ganho em TSH foi da seguinte ordem e magnitude: RB72454 comparada à CB45-3 (27,84%), 1ª geração da RB72454 em relação à RB72454 (9,46%); e 2ª geração da RB72454 em relação à 1ª geração da RB72454 (10,22%). Além do mais, visualiza-se incremento de 54,24% de TSH da média da 2ª geração da RB72454 (RB98710 e RB99395) em relação à CB45-3 (Figura 1).

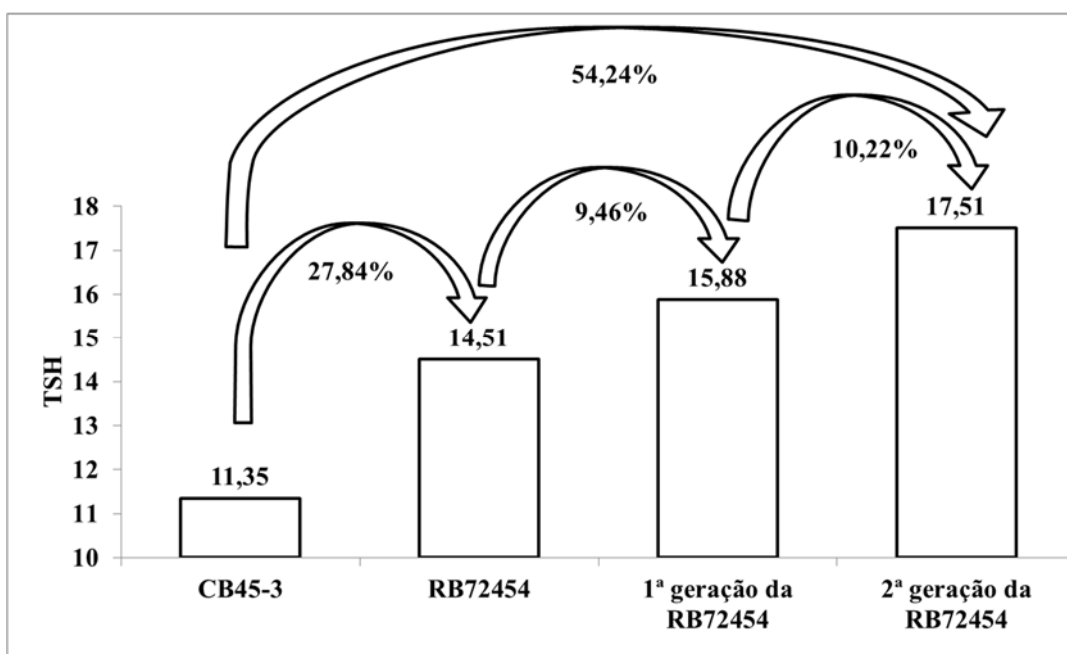


Figura 1. Médias de rendimento de t sacarose ha<sup>-1</sup> (TSH) das cultivares CB45-3, RB72454, 1ª geração da RB72454 (RB867515, RB93509, RB931003, RB931011 e RB951541) e 2ª geração da RB72454 (RB98710 e RB99395). Ganho percentual de TSH devido à substituição da cultivar antecedente por uma população melhorada. Resultados baseados no ensaio realizado em 2012/2013, usando HPLC para determinação do verdadeiro teor de sacarose da cana.

Considerando o ganho de 41,94% de TSH da média das cultivares RB em relação à média da CB45-3 e 38 anos do início do melhoramento genético para a obtenção da RB72454 em Alagoas, pode-se inferir que o ganho médio em TSH das cultivares RB presentes neste estudo em relação à CB45-3 foi de 1,1% por ano.

No Brasil, de 1970 a 2011, houve incremento anual de 155,7 kg de açúcares totais recuperáveis por hectare, correspondente a 4% ao ano (BARBOSA et al., 2012). Os autores consideraram que 50% desse índice se deveu a substituição contínua de cultivares, o que representou uma contribuição de 350 milhões de reais (US\$ 175 milhões) numa área de nove milhões de hectares em 2011. Ademais, a elevação anual em rendimento em açúcar das indústrias de Alagoas nas quatro últimas décadas foi cerca de 2% ao ano. Nesse período também houve grandes avanços tecnológicos, no uso das práticas agrícolas. Assim, o valor de ganho anual de 1,1% obtido neste estudo é compatível com a afirmação de HOGARTH (1976), onde admite que a metade do ganho de rendimento em açúcar na Austrália é atribuída ao melhoramento genético.

Observa-se que os resultados obtidos nesses ensaios em Alagoas revelaram haver superioridade do teor de açúcar das cultivares em relação aos resultados obtidos na Louisiana/USA, onde há a afirmação de um limite aparente de 14% de POL (BREAUX, 1984; LINGLE et al., 2010). Ainda conforme LINGLE et al. (2010), esse limite, nessa região, se deve a três hipóteses: i) condições de cultivo e clima da Louisiana/USA, com baixas temperaturas e curto período de crescimento da cana e com limitações fisiológicas; ii) restrita variabilidade genética do germoplasma da cana; iii) ou a estratégia usada com o uso de parentais de *S. spontaneum* visando à obtenção de cultivares com maior longevidade no cultivo e tolerantes ao frio, a pragas e a doenças. Enquanto isso, nas condições da Flórida/USA, EDMÉ et al. (2005) concluíram não ser evidenciado um platô de conteúdo de sacarose da cana em resultados da fase experimental de obtenção de clones CP. Também merece reflexão a afirmação de MOORE (2005), que em um século houve grande crescimento de rendimento comercial em açúcar no Havaí/USA e Austrália, mas é possível que já tenha atingido um máximo. No entanto, em experimentos nas condições de São Paulo, DAL-BIANCO et al. (2012) discorrem sobre o decréscimo de ganho em rendimento de açúcar de cultivares: i) ganho de 34% da RB855453 sobre a NA56-79; ii) ganho de 7% da RB925345 sobre a RB855453; iii) ganho de 4% da RB966928 sobre a RB925345.

Os resultados de Alagoas com essas gerações da RB72454 contradizem com a afirmação de JACKSON (2005), que no ganho genético em açúcar nas últimas décadas, houve maior participação do componente TCH e pouca participação do teor de sacarose da cana. Além do mais, a afirmação de que os resultados do ganho no rendimento em açúcar, que indicam maior participação de TCH e menor de teor de açúcar da cana, entra em contradição com as magnitudes de herdabilidade estimadas para esses os dois caracteres, pois, conforme SKINNER

et al. (1987), o caráter teor de açúcar (estimado pelo teor de sólidos solúveis totais - Brix) tem média a alta magnitude, com valores de 0,65 para seleção de indivíduos e de 0,90 para seleção de famílias, enquanto TCH tem baixa magnitude, com valores inferiores a 0,17 para seleção de indivíduos e 0,90 para seleção de famílias. De outra parte, muito embora alguns autores admitirem já ter sido atingido um limite aparente na acumulação de sacarose da cana, os resultados experimentais de Alagoas apontam que ainda é possível obter ganhos para esta característica por meio do uso das cultivares RB98710 e RB99395 nas futuras hibridações, em mais ciclos de seleção recorrente. Ademais, JACKSON (2005) recomenda o emprego desta estratégia para alcançar esses progressos.

#### 4.4 CONCLUSÕES

Em 38 anos de pesquisa, as cultivares RB apresentaram ganho médio de 41,94% TSH em relação à média da CB45-3, ou ganho equivalente a 1,1% ao ano. Houve grande êxito da seleção recorrente na obtenção de cultivares RB para duas gerações da RB72454. Em TSH, a RB72454 aumentou 27,84% em relação à CB45-3, enquanto as cultivares da primeira geração da RB72454 incrementaram 9,46% em relação à RB72454. Por sua vez, as cultivares da 2ª geração da RB72454 superaram 10,22% a 1ª geração da RB72454. Não foi evidenciado atingimento de um limite de teor de sacarose da cana, indicando ainda ser possível galgar ganhos para a próxima geração da RB72454. A determinação dos verdadeiros teores de sacarose, glicose e frutose, por meio do equipamento HPLC, na fase de experimentação de programas de melhoramento, pode contribuir para a melhor recomendação do uso e manejo da cultivar, visando à maximização da produção de açúcar e/ou etanol. Pressupõe-se que a continuação da estratégia da seleção recorrente do programa RIDESA/UFAL possibilitará aumentos nos rendimentos de açúcar de futuras cultivares RB.

#### REFERÊNCIAS

- ANDRADE, J. C. **Escorço histórico de antigas variedades de cana-de-açúcar**. Asplana. Maceió. 1985. 285p.
- BARBOSA, G.V.S.; CRUZ, M.M.; SOARES, L.; ROCHA, A.M.C.; RIBEIRO, C.A.G.; SOUZA, A.J.R.; FERREIRA, J.L.C.; BARRETO, E.J.S.; SILVA, W.C.M.; SANTOS, A.V.P. A brief report on sugarcane breeding program in Alagoas, Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.2, p.613-616, 2002.

BARBOSA, M.H.P.; SILVEIRA, L.C.I.; OLIVEIRA, M.W.; SOUZA, V.F.M.; RIBEIRO, S.N.N. RB867515 Sugarcane cultivar. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.1, p.437-438, 2001.

BARBOSA, M. H. P.; SILVEIRA, L. C. I. Melhoramento genético e recomendação de cultivares. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Cana-de-açúcar: Bioenergia, açúcar e álcool – tecnologias e perspectivas**. Ed. UFV. 2010. p. 313-331.

BARBOSA, M.H.P.; RESENDE, M.D.V.; DIAS, L.A.S.; BARBOSA, G.V.S.; OLIVEIRA, R.A.; PETERNELLI, L.A.; DAROS, E. Genetic improvement of sugar cane for bioenergy: the Brazilian experience in network research with RIDESA. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** S2, p.87-98, 2012.

BERDING, N; HOGARTH, M; COX, M. Plant Improvement of Sugarcane. In: JAMES, G.L. (Ed.). **Sugarcane**. 2. ed. Victoria: Blackwell Science, 2004. p.20-53.

BREAUX, R.D. Breeding to enhance sucrose content of sugarcane varieties in Louisiana. **Field Crops Research**, v.9, p.59-67, 1984.

BRESSIANI, J.A.; DA SILVA, J.A.; VENCOVSKY, R.; SORDI, R.; BURNQUIST, W.L. Combining high yields of cane and sucrose in sugarcane through recurrent selection. **Journal American Society Sugar Cane Technologist**, v.26, p.26-37, 2006.

CRUZ, M. M.; MONTEIRO, J. H. A.; BARBOSA, G. V. S. Primeiro relato da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar (*Puccinia kuehnii*) no Nordeste do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 45., Manaus. **Anais...** Manaus: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, 2012, p. 169.

DAL-BIANCO, M.; CARNEIRO, M.S.; HOTTA, C.T.; CHAPOLA, R.G.; HOFFMANN, H.P.; GARCIA, A.A.F.; SOUZA, G.M. Sugarcane improvement: how far can we go?. **Current Opinion in Biotechnology**, v.23, p.265-270, 2012.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193p. (FAO Irrigation and Drainage Paper 33).

EDMÉ, S.J.; MILLER, J.D.; GLAZ, B.; TAI, P.Y.P.; COMSTOCK, J.C. Genetic contribution to yield gains in the Florida sugarcane industry across 33 years. **Crop Science**, v.45, p.92-97, 2005.

FERNANDES, A.C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. 2. ed. Piracicaba: EME, 2003. 240p.

HOGARTH, D.M. New varieties lift sugar production. **Producers Review**, v.66, p.21-22, 1976.

JACKSON, P.A. Breeding for improved sugar content in sugarcane. **Field Crops Research**, v.92, p.277-290, 2005.

LANDELL, M.G.A.; BRESSIANI, J.A. Melhoramento genético, caracterização e manejo varietal. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Eds.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2008. p.101-179.

LINGLE, S.E.; JOHNSON, R.M.; TEW, T.L.; VIATOR, R.P. Changes in juice quality and sugarcane yield with recurrent selection for sucrose. **Field Crops Research**, v.118, p.152-157, 2010.

MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A. F.; BRESSIANI, J.; MACCHERONI, W. Hibridação da cana-de-açúcar. In: BORÉM, A. (Ed.). **Hibridação artificial de plantas**. Viçosa: Editora UFV, 2009. p. 251-304.

MING, R.; MOORE, P.H.; WU, K-K.; D'HONT, A.; GLASZMANN, J.C.; TEW, T.L.; MIRKOV, T.E.; DA SILVA, J.; JIFON, J.; RAI, M.; SCHNELL, R.J.; BRUMBLEY, S.M.; LAKSHMANAN, P.; COMSTOCK, J.C.; PATERSON, A.H. Sugarcane improvement through breeding and biotechnology. In: JANICK, J. (Ed.). **Plant Breeding Reviews**, v.27. New Jersey: John Wiley & Sons Inc, 2006. p.15-118.

MOORE, P. H. Integration of sucrose accumulation processes across hierarchical scales: towards developing an understanding of the gene-to-crop continuum. **Field Crops Research**, v.92, p.119-135, 2005.

PLANALSUCAR. RB72454: Resultados Experimentais no Centro-Sul e Norte-Nordeste do Brasil. **Brasil Açucareiro**, Piracicaba, v.106 (n.1), p.1-39, 1988.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v.30, p.507-12, 1974.

SHANTHI, R. M.; ALARMELU, S. Development of pre-breeding stocks with improved sucrose content over two selection cycles in sugarcane. **Electronic Journal of Plant Breeding**, v.1, p.660-665, 2010.

SKINNER, J. C.; HOGARTH, D. M.; WU, K. K. Selection methods, criteria, and indices. In: HEINZ, D. J. (ed.). **Sugarcane Improvement through Breeding**. Amsterdam: Elsevier, 1987. p.409-453.

TAI, P.Y.P.; MILLER, J.D. Germplasm Diversity among Four Sugarcane Species for Sugar Composition. **Crop Science**, v.42, p.958-964, 2002.

WONG-CHONG, J.; MARTIN, F. A. Analysis of sugarcane saccharides by liquid chromatography 2. ion exchange resins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.27, p.929-932, 1979.

## 5 CAPÍTULO III - ADOÇÃO DE CULTIVARES DA CANA-DE-AÇÚCAR EM ALAGOAS E GANHO DE RENDIMENTO ENTRE AS SAFRAS 1975/1976 E 2010/2011

### RESUMO

Na safra 1975/1976, Alagoas cultivou 267 mil hectares de cana-de-açúcar, onde predominavam as variedades Co331 e CB45-3, com baixos rendimentos em açúcar. Investimentos realizados pelos setores públicos e privados desenvolveram e introduziram cultivares modernas. Na safra 2010/2011, com área de 452 mil hectares, prevaleceram as variedades das siglas RB e SP, com maiores rendimentos em açúcar. Este trabalho pretendeu registrar e descrever o impacto da adoção dessas tecnologias nos rendimentos em açúcar e no retorno econômico aos produtores de Alagoas nestas 36 safras. Conclui-se que: i) as cultivares mais adotadas foram SP70-1143, SP71-1406, RB72454, SP79-1011, SP81-3250, RB83102, RB867515 e RB92579; ii) o ganho em rendimento entre as safras 1993/1994 e 2010/2011 foi de 0,200 t de açúcares redutores totais ha<sup>-1</sup> (TARTH), valor quatro vezes superior ao progresso observado entre as safras 1975/1976 e 1992/1993; e iii) poder-se-ia esperar rendimento médio de 4,93 TARTH com o uso das cultivares Co331 e CB45-3, valor muito inferior ao rendimento médio de 9,94 TARTH, com o uso das cultivares das siglas RB e SP; iv) as cultivares adotadas contribuíram na safra 2010/2011 com adicional extra de US\$ 17,36 milhões, e deste total, US\$ 10,42 milhões podem ser creditados à adoção das cultivares RB; v) em 2010, a RB92579 contribuiu 625,54 US\$ ha<sup>-1</sup> a mais que a cultivar SP79-1011, ou o montante de US\$ 50,30 milhões.

**Palavras-chave:** *Saccharum* spp., melhoramento genético, ganho econômico.

### ADOPTION OF SUGARCANE CULTIVARS IN THE STATE OF ALAGOAS AND YIELD GAINS IN THE PERIOD OF 1975/1976-2010/2011

#### ABSTRACT

In 1975/1996 crop season, the State of Alagoas cultivated 267,000 hectares of sugarcane, where the Co331 and CB45-3 varieties prevailed with low sugar yield. Investments done by the public and private sectors have developed and introduced modern cultivars. In 2010, the RB and SP varieties prevailed with higher sugar yield in an area of 452,000 hectares. This work aims to register and describe the impact of the adoption of these technologies in sugar yield and economic returns to producers of Alagoas in this period. The conclusion is that: i) the cultivars which had higher harvested area: SP70-1143, SP71-1406, RB72454, SP79-1011, SP81-3250, RB83102, RB92579 and RB867515; ii) the gain in sugar yield from 1993 to 2010 was 0.200 tons of total reducing sugars per hectare (TARTH), four times more than the progress from 1975 to 1992; iii) 4.93 TARTH can be expected with the use of old cultivars, in contrast with 9.94 TARTH, with the current cultivars; iv) the adopted cultivars contributed in the 2010/2011 harvest with an extra US\$ 17.36 million and from this amount, US\$ 10.42 million can be credited to the adoption of RB cultivars; and v) the RB92579 contributed more than the SP79-1011 in 2010, 625.54 US\$ ha<sup>-1</sup> or the amount of US\$ 50.30 million.

**Key words:** *Saccharum* spp., sugarcane breeding, economic gain.

## 5.1 INTRODUÇÃO

O cultivo da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) coincide com mais de 500 anos de história do Brasil. Portugal aproveitou esse imenso território e transformou-o em uma colônia agroindustrial do açúcar, com grande retorno econômico. O povoamento do atual Estado de Alagoas, situado no Nordeste do Brasil, teve início em 1570 com o cultivo da cana-de-açúcar e inúmeros engenhos banguês produtores de açúcar foram instalados em solos férteis à margem dos rios e próximo ao litoral - atingiu quase 1.000 engenhos em 1905 (ANDRADE, 2010), que se transformaram nas atuais 24 usinas produtoras de açúcar, etanol e eletricidade (SINDAÇÚCAR, 2012).

A variedade Crioula, que é resultante de uma hibridação natural entre *S. officinarum* e *S. barberi*, predominou nos canaviais brasileiros e alagoanos durante os três primeiros séculos. A Crioula foi substituída pela Caiana no início do século XIX, que dominou o cultivo por sete décadas e foi sucedida pelas variedades Roxa, Rosa, Salongor, Louisier, Ubá e Cristalina até o início do século XX, quando foram introduzidos os primeiros híbridos das siglas POJ - Java/Indonésia, Co - Coimbatore/Índia e CP - Canal Point/USA (ANDRADE, 1985; LANDELL e BRESSIANI, 2008). Em Alagoas, a partir de 1950, passaram a ser plantadas as variedades brasileiras da sigla CB - Campos Brasil e IAC - Instituto Agrônomo de Campinas. No entanto, até 1985, preponderou o cultivo das variedades Co331 e CB45-3 (ANDRADE, 1985).

Fora criada em 1966 a Estação Experimental da Cana-de-Açúcar de Alagoas (EECAA), convênio do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA) e Sindicato da Indústria do Açúcar e do Alcool no Estado de Alagoas (SINDAÇÚCAR), que em 1967 estabeleceu a Estação de Floração e Cruzamento Serra do Ouro, em Murici, Alagoas, compondo um Banco de Germoplasma com mais de mil acessos, entre espécies do gênero *Saccharum* e híbridos de diversos programas mundiais de melhoramento. Esta Estação, em 1971, passou para o Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar (PLANALSUCAR), tornando-se base de obtenção de cariopses das variedades RB - República do Brasil (BARBOSA et al., 2002; BARBOSA et al., 2012). De outro lado, em 1983, a Cooperativa Regional dos Produtores do Açúcar e Alcool de Alagoas (CRPAAA), através do Núcleo de Absorção e Transferência de Tecnologias (NATT), firmou parceria com a COPERSUCAR, para importação e testagem local de clones SP (CARVALHO, 2000).

Na safra 1975/1976, os canaviais de Alagoas ocupavam área de 267 mil hectares. Os rendimentos médios eram de 36,5 t cana ha<sup>-1</sup> (TCH) e para cada tonelada de cana eram

recuperados 103,8 kg de açúcares redutores totais (ART), perfazendo 3,8 t ART ha<sup>-1</sup> (TARTH). Predominava o plantio das variedades Co331, com 54% e CB45-3, com 39%. Na safra 2010/2011, com 452 mil hectares de cana, os rendimentos médios foram de 66,0 TCH e em cada tonelada de cana foram recuperados 135,2 kg de ART, resultando 8,9 TARTH (SINDAÇÚCAR, 2012). Neste período ocorreu grande mudança no uso de tecnologias, como: a adoção de modernas cultivares RB e SP; melhora no manejo da cultura (irrigação, adubação, controle de pragas etc.); e maior eficiência na recuperação industrial dos açúcares da cana (IVO et al., 2008).

Este trabalho pretendeu registrar e descrever a evolução dos rendimentos agroindustriais da cana-de-açúcar em Alagoas entre as safras 1975/1976 e 2010/2011, em função da adoção de cultivares e precipitação pluvial durante o período da safra (setembro a março). São apresentados os impactos dessa adoção nos rendimentos agroindustriais e no retorno econômico aos produtores.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.2.1 O AMBIENTE DE PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR DE ALAGOAS

O cultivo da cana-de-açúcar ocupa de 15 a 20% das terras do Estado, distribuído em 54 municípios do litoral, zona da mata e parte do agreste, entre as latitudes 9°S e 10,2°S e longitudes 35,3°W e 36,2°W. O relevo é formado de 70% dos tabuleiros costeiros, 27% de encostas e 3% de várzeas. Os solos mais frequentes são “Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico” e “Argissolo Vermelho Amarelo”, que geralmente apresentam baixa fertilidade natural e pequena capacidade de retenção de umidade. O clima dessa região é tropical quente subúmido, ocorrendo irregularidade temporal e espacial na distribuição da precipitação pluvial, com duas estações climáticas bem definidas: i) uma chuvosa, de outono a inverno (esta precipitação equivale a 70% do total anual), e que geralmente atende as necessidades hídricas da cultura, porém associadas a temperaturas mais baixas, com menor radiação solar; e ii) uma estação seca, de primavera a verão, período de colheita da cana-de-açúcar, onde também é frequente a combinação de temperaturas elevadas e maior radiação solar (SOUZA et al., 2004). Em 30 anos, a média da precipitação pluvial anual foi de 1.764 mm, com mínimo anual de 902 mm e máximo anual de 2.370 mm; no mesmo período, a média no período da safra (setembro a março) foi de 527 mm, com oscilação entre 219,1 mm e 945,2 mm (SINDAÇÚCAR, 2012). Essa característica agroclimática contribui significativamente para as baixas produtividades da



cana-de-açúcar em Alagoas, quando comparada com a região Centro-Sul do Brasil (ALMEIDA et al., 2008; TEODORO et al., 2009).

### 5.2.2 COLETA DOS DADOS

Foram considerados os dados de 36 safras (1975/1976 a 2010/2011) para as variáveis: rendimento agrícola (TCH; t cana ha<sup>-1</sup>), açúcares redutores totais (ART; kg de ART por tonelada de cana), rendimento de açúcares redutores totais (TARTH; t ART ha<sup>-1</sup>), percentual de cultivo das variedades e a precipitação pluvial média de setembro a março da região canavieira de Alagoas. Os dados de adoção das variedades (censo de variedades) foram obtidos em relatórios do IAA/PLANALSUCAR, NATT/CRPAAA e RIDESA/UFAL. Os dados de rendimentos agroindustriais e precipitação pluvial foram obtidos em SINDAÇÚCAR (2012).

### 5.2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

#### 5.2.3.1 ADOÇÃO DAS VARIEDADES

Construiu-se um gráfico do percentual anual de área cultivada das principais variedades – aquelas que tinham acima de 3% da área em pelo menos uma safra. De acordo com o período de liberação ou introdução da variedade, consideraram-se três grupos: G<sub>0</sub>: variedades mais cultivadas até a safra 1975/1976 (Co331 e CB45-3); G<sub>1</sub>: variedades liberadas ou introduzidas entre as safras 1975/1976 e 1992/1993 (NA56-79, Co997, RB70141, RB70194, RB72454, SP70-1143, SP71-1406, SP71-6949, RB75126, SP79-1011 e RB83102); e G<sub>2</sub>: variedades liberadas ou introduzidas após a safra 1992/1993 (SP78-4764, SP81-3250, VAT90-212, RB867515, RB92579, RB93509). Também construiu-se um gráfico da percentagem de área cultivada dos grupos de variedades.

#### 5.2.3.2 EVOLUÇÃO DE RENDIMENTOS AGROINDUSTRIAIS

Na série histórica de 36 safras (1975/1976 a 2010/2011), foram detectados dois períodos com marcante mudança dos rendimentos agroindustriais: Período 1 (18 safras de 1975/1976 a 1992/1993) e Período 2 (18 safras de 1993/1994 a 2010/2011). Com isso, aplicou-se um modelo de regressão linear com dois segmentos (NETER e WASSERMAN, 1974), para estimar a evolução anual de ART, TCH e TARTH, conforme seja:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 (x_{i1} - 18) x_{i2} + \varepsilon_i$$

Em que:

$y_i$  é a resposta da variável ART, TCH ou TARTH à mudança da  $i$ -ésima safra ( $i = 1, 2, \dots, 36$ , correspondente as safras 1975/1976, 1976/1977, ..., 2010/2011);

$x_{i1}$  é a safra  $i$ ;

$x_{i2}$  é uma variável indicadora: será igual a zero nas safras do Período 1 ( $i = 1, 2, \dots, 18$ ); será igual a 1 nas safras do Período 2 ( $i = 19, 20, \dots, 36$ );

$\beta_0$  é o intercepto da regressão (estima  $y$  antes da safra 1975/1976);

$\beta_1$  é o coeficiente da regressão correspondente ao Período 1; indica o acréscimo anual de  $y$  no Período 1;

$\beta_2$  é o coeficiente da regressão correspondente ao Período 2;  $(\beta_1 + \beta_2)$  indica o acréscimo anual de  $y$  no Período 2;

$\varepsilon_i$  é o erro, aleatório, independente, com média 0 e variância  $\sigma^2$ .

### 5.2.3.3 RENDIMENTO EM FUNÇÃO DA ADOÇÃO DE VARIEDADES E DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL

Objetivando relacionar ART, TCH e TARTH com as variáveis explicativas grupo de variedades, precipitação pluvial de setembro a março na safra analisada (PS) e precipitação pluvial de setembro a março na safra anterior (PSA), aplicou-se um modelo de regressão múltipla (NETER e WASSERMAN, 1974), conforme segue:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 G_{i1} + \beta_2 G_{i2} + \beta_3 (PS)_i + \beta_4 (PSA)_i + \varepsilon_i$$

Em que:

$y_i$  é a resposta da variável rendimento agroindustrial à mudança do percentual de cultivo dos grupos de variedades  $G_1$  e  $G_2$ , da precipitação pluvial dos meses da safra (PS) e da precipitação pluvial dos meses da safra anterior (PSA), na  $i$ -ésima safra ( $i = 1, 2, \dots, 36$ , correspondente as safras 1975/1976, 1976/1977, ..., 2010/2011);

$G_{i1}$  e  $G_{i2}$  são os percentuais de área cultivada com os grupos de variedades 1 e 2, respectivamente, na safra  $i$ ;

$(PS)_i$  é a precipitação pluvial, em mm, de setembro a março, na safra  $i$ ;

$(PSA)_i$  é a precipitação pluvial, em mm, de setembro a março da safra anterior a safra  $i$ ;

$\beta_0$  é o intercepto do plano da regressão; estima  $y$  quando  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $PS$  e  $PSA$  forem iguais a zero;

$\beta_1$  é o coeficiente da regressão correspondente à contribuição do grupo de variedades  $G_1$ ; representa a resposta média de  $y$  por unidade de acréscimo do percentual de cultivo de  $G_1$ , admitindo serem mantidos constantes os níveis de  $G_2$ ,  $PS$  e  $PSA$ ;

$\beta_2$  é o coeficiente da regressão correspondente à contribuição do grupo de variedades  $G_2$ ; representa a resposta média de  $y$  por unidade de acréscimo do percentual de cultivo de  $G_2$ , admitindo serem mantidos constantes os níveis de  $G_1$ ,  $PS$  e  $PSA$ ;

$\beta_3$  é o coeficiente da regressão correspondente à contribuição da precipitação pluvial de setembro a março da safra; representa a resposta média de  $y$  por unidade de acréscimo da precipitação pluvial de setembro a março da safra, admitindo serem mantidos constantes os níveis de  $G_1$ ,  $G_2$  e  $PSA$ ;

$\beta_4$  é o coeficiente da regressão correspondente à contribuição da precipitação pluvial de setembro a março da safra anterior; representa a resposta média de  $y$  por unidade de acréscimo da precipitação pluvial de setembro a março da safra anterior, admitindo serem mantidos constantes  $G_1$ ,  $G_2$  e  $PS$ ;

$\varepsilon_i$  é o erro, aleatório, independente, com média 0 e variância  $\sigma^2$ .

Com as estimativas dos parâmetros do modelo de regressão construíram-se cenários para combinações de diferentes níveis de precipitação pluvial (250, 500 e 750 mm) de setembro a março da safra avaliada e de setembro a março da safra anterior, e diferentes níveis de participação percentual de grupos de variedades.

#### 5.2.3.4 GANHOS ECONÔMICOS COM O USO DE CULTIVARES MELHORADAS

Fez-se uma análise do benefício econômico da adoção de cultivares melhoradas para Alagoas baseada na estimativa de ganho anual de TARTH entre as safras 1993/1994 e 2010/2011, com a aplicação do resultado para a safra 2010/2011. Admitiu-se que: i) a metade do ganho se deve ao melhoramento genético (DUVICK, 2005; RAMALHO et al., 2012); ii) na safra 2010/2011 de Alagoas foram colhidos 452 mil hectares; iii) o valor do kg dos Açúcares Totais Recuperáveis (ATR) em Alagoas acumulado até agosto de 2011 foi de R\$ 0,5435; iv) 1 kg de ART em Alagoas equivale 0,89 kg de ATR (SINDAÇÚCAR, 2012); v) 1 dólar em 31 de

agosto de 2011 valeu R\$ 1,59; e vi) na safra 2010/2011 as cultivares RB ocuparam 60% da área canavieira de Alagoas. Analisou-se ainda a margem de contribuição econômica da cultivar RB92579 na safra 2010/2011 em relação à cultivar SP79-1011, que era a mais plantada em Alagoas antes da liberação da RB92579. Considerou-se que: i) na safra 2010/2011 de Alagoas foram colhidos 80.416 ha da RB92579, com rendimento médio de 9.087 kg de ATR ha<sup>-1</sup> e 60.661 ha da SP79-1011, com rendimento médio de 7.257 kg de ATR ha<sup>-1</sup> (dados obtidos pela RIDESA/UFAL e NATT/CRPAAA).

### 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 5.3.1 ADOÇÃO DAS VARIEDADES

Cinco variedades ocuparam posição de liderança nas 36 safras (Figura 1). A Co331, dominou até a safra 1980/1981 e deixou de ser cultivada em 1995. Esta variedade ocupou 19% dos canaviais do Brasil (BARBOSA et al. 2012), mas seu cultivo ficou restrito à região Nordeste, dada a sua rusticidade e tolerância à seca, além de não ser adotada na região Centro-Sul devido à suscetibilidade à doença Carvão (SEGALLA e ALVAREZ, 1956). Entre as safras 1981/1982 e 1995/1996, quem comandou foi a CB45-3, devido à sua característica de bom rendimento agrícola. Atingiu 60% da área na safra 1988/1989, mas pelo seu baixo conteúdo de sacarose, deixou de ser plantada a partir de 2002. De acordo com BARBOSA et al. (2012), a CB45-3 também foi a variedade mais cultivada no Brasil entre 1985 a 1995, mas também devido à suscetibilidade a doença Carvão, seu plantio se restringiu à região Nordeste, e aos Estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais. Ademais, nos canaviais de Alagoas essa doença não apresenta danos de importância econômica, não sendo considerada na seleção de genótipos locais (BARBOSA et al., 2002). Estas duas variedades estiveram presentes nessas 27 safras, mas considerando o período de suas introduções em Alagoas, foram adotadas pelos produtores por mais de meio século. Conforme MATSUOKA et al. (2005), as variedades Co331 e CB45-3 foram as que tiveram a maior durabilidade de cultivo no Brasil no século XX.

A RB72454, selecionada pelo PLANALSUCAR, em Alagoas, e liberada em 1987 para as demais regiões do Brasil, tem alto rendimento agrícola e bom conteúdo em sacarose. Nos canaviais de Alagoas esteve à frente entre as safras 1996/1997 e 1999/2000. Ressalte-se que a RB72454 foi a cultivar de maior potencial produtivo dentre todas aquelas desenvolvidas pelo PLANALSUCAR (BARBOSA et al., 2012). Também foi a mais plantada no Brasil de 1997 a 2007 (BRAGA JR. et al., 2011; BARBOSA et al., 2012). No entanto, nos ambientes de Alagoas e

do Nordeste brasileiro, ela apresenta alta sensibilidade à escassez hídrica, o que ocasionou declínio da sua área plantada.

A SP79-1011 liderou a partir da safra 2000/2001, por conta da sua rusticidade, tolerância à seca, bom conteúdo em sacarose, embora tenha mediano rendimento agrícola. Atingiu o topo em 2003/2004 (35% da área), mas gradativamente tem sido substituída por outras variedades de maior rendimento agroindustrial. Esta variedade ocupou expressiva área no Brasil, com 10,4% em 2005 (BARBOSA et al., 2012) e obteve média de 7% da área cultivada no Brasil de 1991 a 2010 (BRAGA JR. et al., 2011).

A RB92579, liberada em 2003 pela RIDESA/UFAL, tem apresentado alta taxa de crescimento do percentual de cultivo, cerca 3,7% ao ano. Desde a safra 2008/2009 comanda a área cultivada, em decorrência do seu elevado rendimento agroindustrial, que é de 30 a 40% superior aos genótipos utilizados comercialmente antes de 2003, e 60% superior as mais usadas entre 1970 a 1990. Indubitavelmente, o desenvolvimento deste híbrido foi um marco histórico da contribuição do melhoramento genético da cana-de-açúcar, pois tem impactado a produtividade da cultura no Estado e na região. De acordo com BARBOSA et al. (2012), a RB92579 ocupou a terceira posição entre as mais plantadas no Brasil em 2011 (6,3%). Passou a ser considerada “variedade significativa” - conceito atribuído por BRAGA JR. et al. (2011) quando a variedade, em pelo menos um ano, atinge o percentual de 5% ou mais do cultivo de uma região.

Também tiveram áreas significativas e acima de 5% até a safra 2000/2001: RB70194, Co997, SP70-1143, SP71-1406, SP71-6949 e RB83102. As demais variedades ocuparam áreas inferiores a 5% (Figura 1). Alguns desses genótipos foram preteridos para os plantios pelos produtores em virtude de serem suscetíveis à doenças: as cultivares NA56-79, SP70-1143, SP71-1406 e RB83102, foram afetadas pela Ferrugem Marrom (*Puccinia melanocephala*); e Co997 foi afetada pelo Raquitismo das Soqueiras (*Leifsonia xyli* subsp. *xyli*). MATSUOKA et al. (2009) afirmam que a cana-de-açúcar é afetada por doenças que causam queda de rendimentos em açúcar e provocam a substituição de importantes variedades. Afirmaram ainda que a liberação de um grande número de cultivares no Brasil nas últimas décadas reduziu o risco de perdas de safras provocadas por doenças.

Na última década, além da SP79-1011 e RB92579, as variedades com maiores participações no censo foram: SP81-3250, que atingiu 16,2% na safra 2003/2004, mas teve reduzida sua parcela nas últimas safras; VAT90-212, que atingiu 6,6% na safra 2010/2011, e deve permanecer nesse patamar; RB867515, que atingiu 14,7% na safra 2010/2011 e ainda aumentará em área plantada; a RB93509, que contribuiu com 5,8% da área na safra 2010/2011,

mas também tem condições de ascender um pouco mais (Figura 1). Ressalte-se que a SP81-3250 foi uma das mais importantes para o Brasil nas últimas dez safras (BRAGA JR. et al., 2011; BARBOSA et al., 2012) e que a RB867515, selecionada pelo PLANALSUCAR, em Minas Gerais, e liberada pela RIDESA/UFV em 1997 (BARBOSA et al., 2001), é, atualmente, a cultivar mais importante para o Brasil, ocupando 22,1% da área plantada no país, em 2011 (BARBOSA et al., 2012).

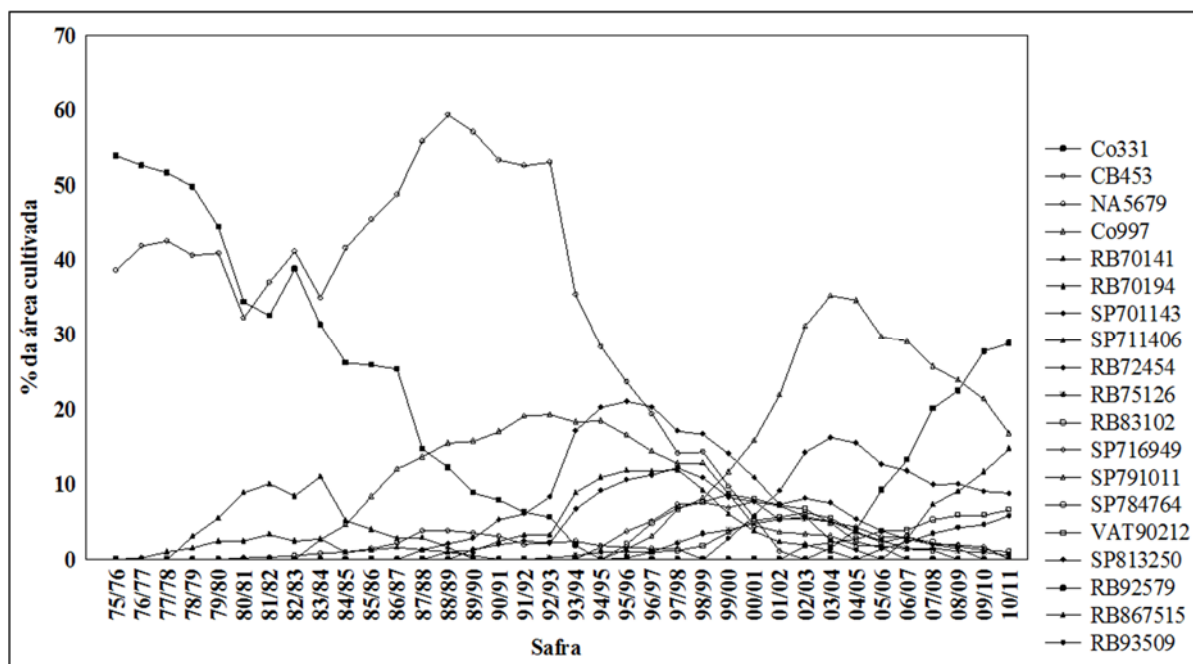


Figura 1. Evolução do percentual da área cultivada com as principais variedades de cana-de-açúcar em Alagoas entre as safras 1975/1976 e 2010/2011.

BURNQUIST et al. (2010) enfatizam que a adoção das cultivares pelos produtores é uma forma de revelar os benefícios dos investimentos aplicados nas pesquisas pelos setores público e privados. Relatam ainda que a vida útil de uma variedade é de 20 anos na Austrália, com quatro ciclos de cultivo de cinco colheitas, 15 anos no Brasil, com três ciclos de cultivo de cinco colheitas e próximo de 25 anos na África do Sul, com dois a quatro ciclos de oito a 11 colheitas. Registre-se que entre as variedades mais antigas cultivadas em Alagoas, Co331 e CB45-3 tiveram vida útil próxima de 50 anos, RB72454 em torno de 20 anos e SP79-1011 está atingindo 20 anos.

### 5.3.2 EVOLUÇÃO DE RENDIMENTOS AGROINDUSTRIAIS

#### 5.3.2.1 CONTEÚDO DE AÇÚCARES REDUTORES TOTAIS

Verificou-se que 77,4% das variações totais de ART foram explicadas pelo modelo de regressão proposto, sendo significativo a 1% de probabilidade de erro (Figura 2a). É importante perceber que antes de 1975, o rendimento de ART era de 101,25 kg por tonelada de cana. Nota-se que houve aumentos médios anuais de 1,33 e 0,92 kg de ART por tonelada de cana, com incrementos anuais de 1,3% e 0,9% nos Períodos 1 e 2, respectivamente. Supõe-se que o maior ganho em ART no Período 1 se deveu a grande mudança com o plantio de variedades mais ricas em açúcar, tendo menor ritmo dessa mudança no Período 2.

#### 5.3.2.2 RENDIMENTO AGRÍCOLA

Observou-se que 52,5% das variações totais de TCH foram explicadas pelo modelo de regressão proposto, sendo significativo a 1% de probabilidade de erro (Figura 2b). Verificou-se não haver incremento anual de TCH no Período 1, justificado pelo plantio privilegiado de cultivares com maior teor de açúcar, mas com nível de rendimento agrícola semelhante às plantadas anteriormente. Por sua vez, no Período 2, com o uso de novas tecnologias, como irrigação, adubação, controle de pragas e a adoção de variedades com maior potencial genético de rendimento agrícola, o ganho anual foi de 1,11 TCH, correspondente a uma taxa de crescimento anual de 2,3%, nesse rendimento, entre as safras 1993/1994 e 2010/2011.

#### 5.3.2.3 RENDIMENTO DE AÇÚCARES REDUTORES TOTAIS

O crescimento anual de TARTH foi de apenas 0,05 no Período 1 em contraste com 0,20 no Período 2, o que correspondeu a aumentos de 1% e 4% ao ano, respectivamente nos dois períodos. O elevado ganho no Período 2 pode ser creditado ao uso de modernas tecnologias, notadamente a adoção de cultivares com maior rendimento agroindustrial. O modelo de regressão proposto foi significativo a 1% de probabilidade de erro e explicou 74,2% das variações de TARTH (Figura 2c).

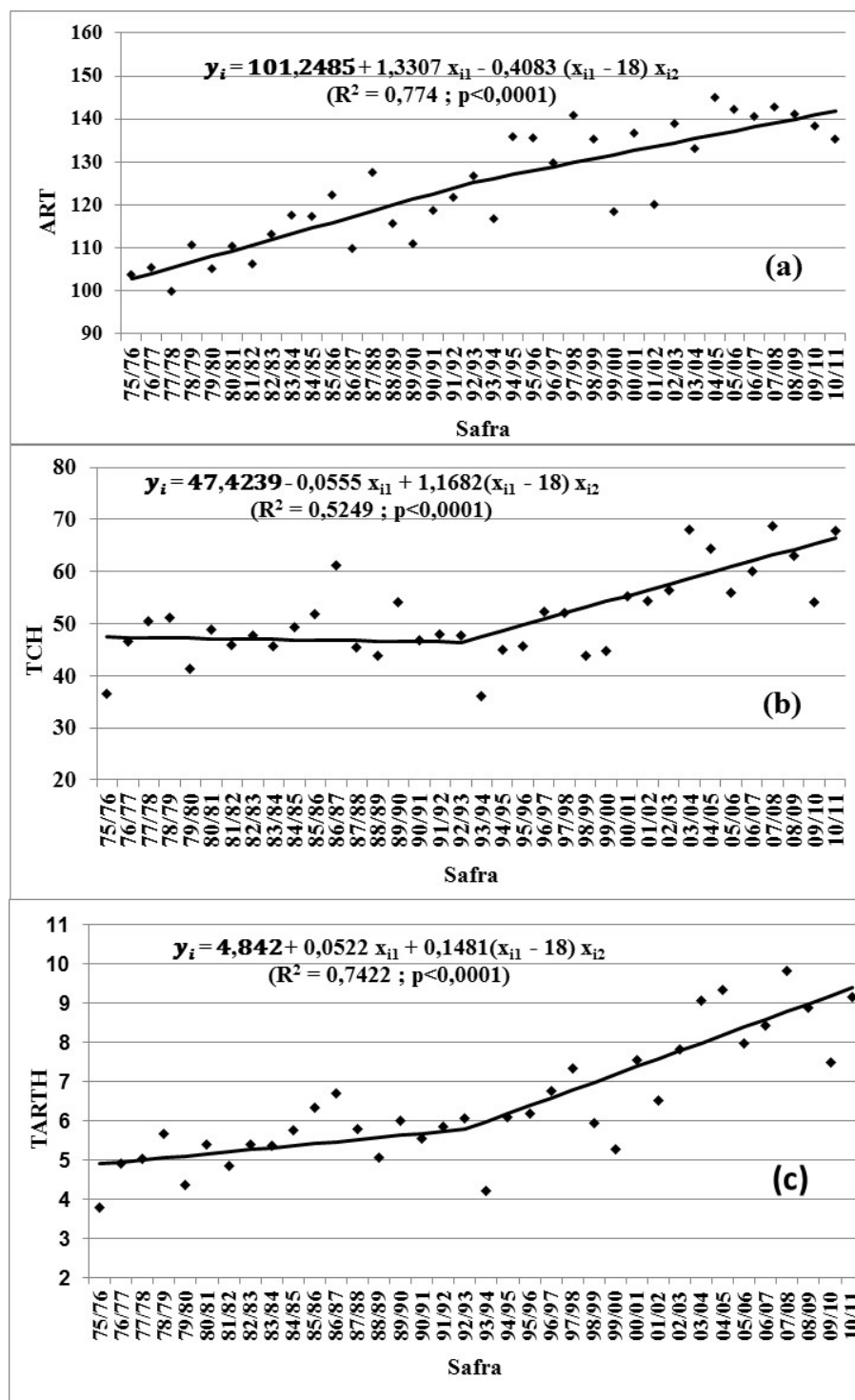


Figura 2. Rendimentos agroindustriais da cana-de-açúcar em Alagoas da safra 1975/1976 a safra 1992/1993 (Período 1) e da safra 1993/1994 a safra 2010/2011 (Período 2). Ajuste de regressão linear com dois segmentos:  $x_{i1}$  é tempo em anos (1, 2,...,36), correspondente as safras (1975/1976, 1976/1977, ..., 2010/2011);  $x_{i2}$  é uma variável indicadora:  $x_{i2} = 0$  se  $x_{i1} \leq 18$  e  $x_{i2} = 1$  se  $x_{i1} > 18$ . (a) açúcares redutores totais (ART; kg de ART por tonelada de cana); (b) rendimento agrícola (TCH; t cana ha<sup>-1</sup>); (c) rendimento de açúcares redutores totais (TARTH; t ART ha<sup>-1</sup>).



Ressalte-se que esses resultados de rendimentos comerciais são compatíveis com os ganhos médios experimentais de cultivares liberadas em Alagoas nos mesmos períodos, quando contrastadas com as cultivares padrões: de 1975 a 1992, ocorreram significativos acréscimos de teor de açúcar da cana e de rendimento de açúcar, não havendo aumento significativo de rendimento agrícola. Observou-se, para este período, crescimento anual no rendimento de açúcar de 80 kg ha<sup>-1</sup>. De 1993 a 2010, não foi observado elevação significativa de teor de açúcar da cana, mas foram significativos os aumentos de rendimento agrícola e de açúcar. Verificou-se, para este período, ganho anual no rendimento de açúcar de 140 kg ha<sup>-1</sup>.

A maximização do rendimento agrícola da cana-de-açúcar exige cada vez mais a adoção de cultivares de alto potencial genético e o emprego de fundamentos de manejo da cultura (MOORE, 2005; JACKSON, 2005). O rendimento potencial da cultura é estimado por WACLAWOVSKY et al. (2010) em 381 TCH. Em Alagoas, as médias alcançadas pelos produtores, de rendimento agrícola, são muito baixas, inferiores a 20% desse rendimento teórico, e isto se deve às diversas restrições agronômicas e ambientais do cultivo da cana-de-açúcar.

As taxas de ganho de rendimento de açúcar verificados em Alagoas são compatíveis com outras observados em várias regiões produtoras do mundo. MOORE (2005) apresenta crescimento de rendimento de açúcar em três locais: no Havaí e na Austrália, em quase um século, crescimento anual próximo a 0,100 t ha<sup>-1</sup>; e na Louisiana/USA, em 60 anos, crescimento anual de 0,060 t ha<sup>-1</sup>. COX et al. (2005) avaliaram ganho médio anual de 0,190 t ha<sup>-1</sup> para cinco regiões da Austrália, no período 1970 a 2002. Na Flórida/USA, em 33 anos (1968 a 2000), EDMÉ et al. (2005) observaram aumento anual do rendimento comercial de 0,100 t ha<sup>-1</sup>. Verificaram ainda que os maiores acréscimos ocorreram entre os períodos 1981 a 1990 e 1991 a 2000. Por sua vez, BURNQUIST et al. (2010), para o período de 1996 a 2006, observaram ganho anual de 0,140 t ha<sup>-1</sup> no Brasil, mas não evidenciaram ganhos na Austrália e África do Sul.

### 5.3.3 RENDIMENTO EM FUNÇÃO DA ADOÇÃO DE VARIEDADES E DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL

As variedades do grupo G<sub>0</sub> (Co331 e CB45-3) estiveram presentes em 27 safras. Na safra 1975/1976 ocupavam 93% da área cultivada e deixaram de ser plantadas na safra 2001/2002 (Figura 3). Evidenciou-se acentuada queda da participação das variedades deste grupo, reduzindo 3,4% ao ano.

Variedades do grupo G<sub>1</sub> (NA56-79, Co997, RB70141, RB70194, SP70-1143, SP71-1406, SP71-6949, RB72454, RB75126, SP79-1011 e RB83102) são cultivadas desde a safra 1976/1977, o que corresponde a um período de 35 safras. Em 22 anos, na safra 1997/1998, atingiram 78% da área, com crescimento anual de 3,5%, mas têm decrescido a uma taxa anual de 4,5%, chegando a 19% da área plantada na safra 2010/2011 (Figura 3). Nesta safra, este grupo é representado apenas pelas variedades SP79-1011 e RB75126 (Figura 1).

Por sua vez, variedades do grupo G<sub>2</sub> (SP78-4764, SP81-3250, VAT90-212, RB867515, RB92579, RB93509), tiveram grande crescimento a partir da safra 1996/1997, com 4,4% ao ano em 15 safras, ocupando 65,7% da área cultivada na safra 2010/2011 (Figura 3).

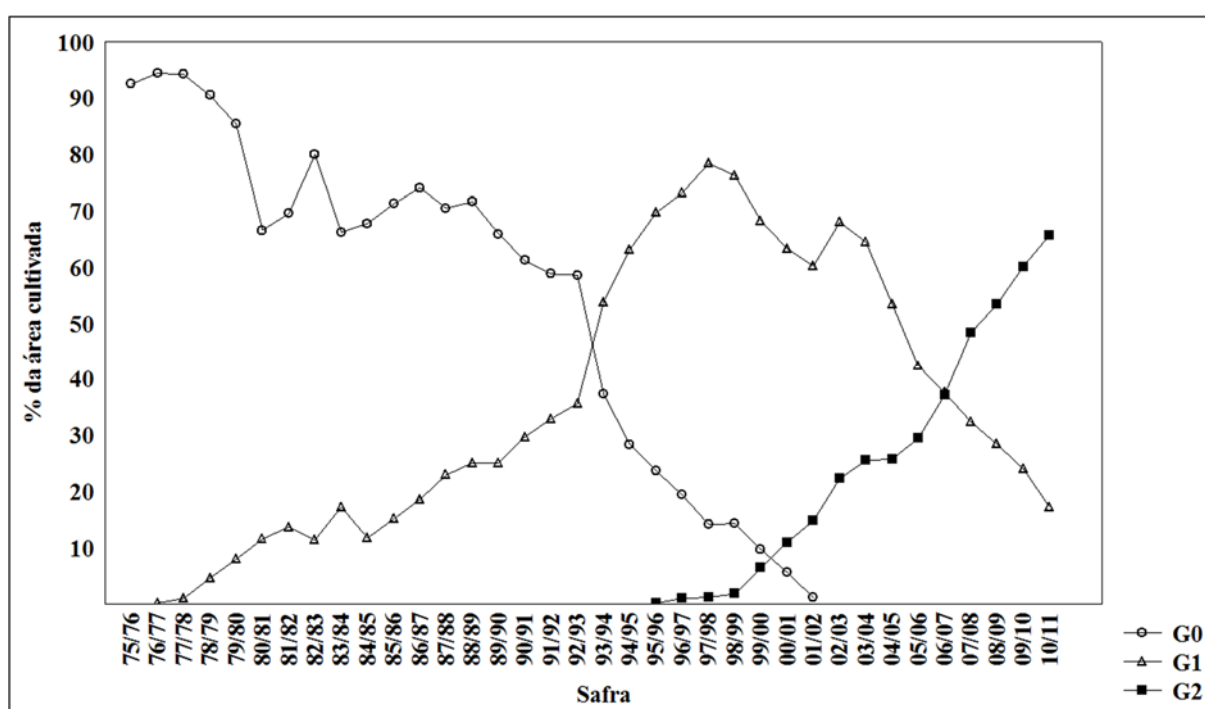


Figura 3. Evolução do percentual de cultivo de grupos de variedades em Alagoas da safra 1975/1976 a safra 2010/2011. G<sub>0</sub>: Co331 e CB45-3; G<sub>1</sub>: NA56-79, Co997, RB70141, RB70194, RB72454, SP70-1143, SP71-1406, SP71-6949, RB75126, SP79-1011 e RB83102; G<sub>2</sub>: SP78-4764, SP81-3250, VAT90-212, RB867515, RB92579 e RB93509.

Baixas produtividades da cana em Alagoas são relacionadas a acentuada irregularidade na distribuição temporal e espacial da precipitação pluvial de setembro a março, período que ocorre somente 30% da precipitação anual (SOUZA et al., 2004; ALMEIDA et al., 2008; TEODORO et al., 2009). Nas 36 safras avaliadas neste estudo, verificou-se para esse período da safra, média de 558,9 mm, mínimo de 178,9 mm e máximo de 999,4 mm.

O ajuste da regressão linear múltipla apresentou resultado altamente significativo pelo teste F ( $p < 0,0001$ ) (Tabela 1). Com as estimativas dos coeficientes de regressão, que foram

significativas pelo teste t, depreende-se que, mantidos os mesmos níveis das demais variáveis explicativas do modelo, cada mm de precipitação de setembro a março da safra reduz 0,0182 ART, aumenta 0,0107 TCH, mas não aumenta TARTH; em cada mm de precipitação de setembro a março da safra anterior, não há influência na recuperação de ART, mas há aumento de 0,0110 TCH e 0,0014 TARTH (Tabela 1). Resultados obtidos em experimentos com irrigação da cana-de-açúcar no Havaí, Austrália, Ilhas Maurício e África do Sul por THOMPSON (1976) indicaram incrementos de 0,0969 TCH e 0,0135 t de açúcar  $\text{ha}^{-1}$  para cada mm de água consumida pela cultura. Por outro lado, nas condições de cultivo comercial sem irrigação no Quênia, observou-se elevação entre 0,05 a 0,06 TCH para cada mm de água consumida pela planta (CARR e KNOX, 2010).

Pelas estimativas dos coeficientes de regressão para grupos de variedades, verificou-se que para cada unidade percentual de aumento de área cultivada do grupo G<sub>1</sub> houve elevação de 0,3017 ART e de 0,0620 TCH. Supõe-se que a maior contribuição na elevação de teor de açúcar se deveu à estratégia inicial empregada pelo melhoramento genético em Alagoas, quando foi priorizado elevar esta característica das variedades de cana antes cultivadas. Por sua vez, as variedades do grupo G<sub>2</sub> tiveram marcante contribuição no incremento de TCH, com aumento de 0,3145 para cada unidade percentual de aumento de área cultivada do grupo, mas com menor participação no acréscimo de ART, com 0,3977. Verifique-se que já tinha havido ganho de 0,3017 ART atribuído ao grupo G<sub>1</sub>. Isto se deveu a estratégia empregada pelo melhoramento no Período 2 em elevar TCH para as variedades obtidas com altos níveis de açúcar no primeiro período. Uma vez que TARTH é o resultado do produto TCH pelo ART, as variedades do grupo G<sub>2</sub> também apresentaram contribuição bem maior que as variedades do grupo G<sub>1</sub> para a elevação desse rendimento, correspondentes a aumentos de 0,0623 e 0,0216, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1. Estimativas dos coeficientes de regressão múltipla com resultados dos testes F e t para as variáveis kg de ART por tonelada de cana (ART), t cana  $\text{ha}^{-1}$  (TCH) e t de ART  $\text{ha}^{-1}$  (TARTH).

Variável	Estimativas dos coeficientes de regressão linear múltipla					$R^2_{aj}^{(1)}$
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	
ART	119,5693***	0,3017***	0,3977***	-0,0182***		0,83
TCH	33,6306***	0,0620 <sup>§</sup>	0,3145***	0,0107*	0,0110*	0,58
TARTH	4,2285***	0,0216***	0,06227***		0,0014*	0,74

(1): todos modelos de regressão foram significativos pelo teste F ( $p < 0,0001$ );

\*\*\*, \*, <sup>§</sup> : significativos a 0,1%, 5% e 11% de probabilidade de erro, respectivamente, pelo teste t

Com os coeficientes de regressão obtidos no modelo de regressão foram construídos cenários de estimativas de ART, TCH e TARTH, considerando combinações de níveis de precipitação pluvial (250, 500 e 750 mm) dos meses de setembro a março da safra avaliada e da safra anterior e níveis de participação percentual de grupos de variedades. Pelo modelo estimado e admitindo a precipitação pluvial de 500 mm durante os meses de setembro a março da safra e 500 mm durante os meses de setembro a março da safra anterior - valores próximos da média desse período para a região canavieira alagoana -, os resultados agroindustriais médios esperados seriam: i) 100% da área cultivada com as variedades de G<sub>0</sub> (Co331 e CB45-3), situação que ocorria até a safra 1975/1976, haveria recuperação de 110,48 kg de ART para cada tonelada de cana, obtenção de 44,51 TCH, perfazendo 4,93 TARTH; ii) metade da área cultivada com variedades de G<sub>0</sub> e metade com G<sub>1</sub>, que ocorreu duas décadas atrás, resultaria 125,57 kg de ART por cada tonelada de cana, 47,61 TCH e 6,01 TARTH; iii) 70% da área cultivada com variedades de G<sub>1</sub> e 30% de G<sub>2</sub>, verificado há uma década atrás, obtenção de 143,54 kg de ART por tonelada de cana, 58,28 TCH e 8,31 TARTH; e iv) 30% da área cultivada com variedades de G<sub>1</sub> e 70% com G<sub>2</sub>, observado recentemente, atingiria para cada tonelada de cana 147,37 kg de ART, 68,38 TCH e 9,94 TARTH (Tabela 2).

Tabela 2. Cenários com estimativa kg de ART por tonelada de cana (ART), t cana ha<sup>-1</sup> (TCH) e t de ART ha<sup>-1</sup> (TARTH) para diferentes níveis de precipitação pluvial de setembro a março da safra (PS), precipitação pluvial de setembro a março da safra anterior (PSA) e participação percentual dos grupos de variedades - G<sub>0</sub>: Co331 e CB45-3; G<sub>1</sub>: NA56-79, Co997, RB70141, RB70194, RB72454, SP70-1143, SP71-1406, SP71-6949, RB75126, SP79-1011 e RB83102; G<sub>2</sub>: SP78-4764, SP81-3250, VAT90-212, RB867515, RB92579 e RB93509.

Variável	PS (mm)	PSA (mm)	Participação percentual dos grupos de variedades			
			G <sub>0</sub> (100%)	G <sub>0</sub> (50%); G <sub>1</sub> (50%)	G <sub>1</sub> (70%); G <sub>2</sub> (30%)	G <sub>1</sub> (30%); G <sub>2</sub> (70%)
ART	250		115,03	130,11	148,08	151,92
	500		110,48	125,57	143,54	147,37
	750		105,94	121,03	138,99	142,83
TCH	250	250	39,07	42,17	52,84	62,94
	250	500	41,82	44,92	55,60	65,70
	250	750	44,57	47,67	58,35	68,45
	500	250	41,75	44,85	55,53	65,63
	500	500	44,51	47,61	58,28	68,38
	500	750	47,26	50,36	61,03	71,13
	750	250	44,44	47,54	58,21	68,31
	750	500	47,19	50,29	60,97	71,07
	750	750	49,94	53,04	63,72	73,82
		250	4,58	5,66	7,96	9,59
TARTH		500	4,93	6,01	8,31	9,94
		750	5,28	6,36	8,66	10,29

EDMÉ et al. (2005) avaliaram ganhos em rendimento comercial da indústria açucareira da Flórida/USA em três períodos, de acordo com a mudança na adoção de grupos de variedades de cana da sigla CP (Canal Point), e concluíram: de 1968 a 1980, não houve ganho significativo no rendimento em açúcar; de 1981 a 1990, ocorreu aumento anual significativo de  $0,170 \text{ t ha}^{-1}$ , proporcionado pelo aumento anual de 1,840 kg de açúcar por tonelada de cana; de 1991 a 2000, verificou-se acréscimo anual significativo de  $0,180 \text{ t ha}^{-1}$ , proporcionado por ganhos anuais simultâneos de 0,490 kg de açúcar por tonelada de cana e 1,120 TCH.

Na Austrália, o grande incremento de conteúdo de açúcar das cultivares foi obtido há mais de quatro décadas. Desde então, o ganho de rendimento em açúcar é atribuído a acréscimo devido exclusivamente ao rendimento agrícola (JACKSON, 2005).

#### 5.3.4 GANHOS ECONÔMICOS COM O USO DE CULTIVARES MELHORADAS

Entre as safras 1993/1994 e 2010/2011 houve ganho médio anual de 0,200 TARTH. Com esse ganho de rendimento, a contribuição anual do melhoramento genético foi de US\$ 17,36 milhões, ou média anual de  $38,41 \text{ US\$ ha}^{-1}$ . Considerando ainda que na safra 2010/2011 as cultivares RB ocuparam 60% da área canavieira de Alagoas, pode-se inferir que o ganho médio, neste ano, atribuído ao uso dessas inovações foi da ordem de US\$ 10,42 milhões.

Os resultados alcançados pelo melhoramento genético da cana-de-açúcar em Alagoas teve grande êxito e cumpriu com as metas previstas no projeto da criação do PLANALSUCAR (IAA, 1972). Nesse plano institucional, informava-se que em 1970 o rendimento médio de açúcar do Brasil era de  $4,5 \text{ t ha}^{-1}$  e havia a premissa de que o programa de obtenção de cultivares RB, quando implantado, possibilitaria um aumento de 10% na rentabilidade da indústria açucareira brasileira, decorrente do incremento do rendimento agrícola e industrial da matéria-prima melhorada. Após esse incremento, previa-se um acréscimo anual de 3% nessa rentabilidade, e isso, representaria, na época, ganho de mais de 16 milhões de dólares numa safra para as empresas do setor açucareiro brasileiro. BARBOSA et al. (2012) apuraram o ganho atribuído ao melhoramento genético da cana-de-açúcar no Brasil de 1970 a 2011. Apresentaram incremento médio anual de  $155,7 \text{ kg de ATR ha}^{-1}$ , correspondente a 4% ao ano, sendo que metade desse índice se deveu a substituição contínua de variedades. Isto representou, em 2011, para uma área de nove milhões de hectares, uma contribuição de US\$ 175 milhões, ou uma média de  $19,40 \text{ US\$ ha}^{-1}$ . Considerando que em 2011 as variedades RB representaram 58,9% da área cultivada, a contribuição do programa de obtenção de variedades RB nesse ano foi de 103 milhões de dólares para a indústria açucareira brasileira.

EDMÉ et al (2005) estimaram ganhos de US\$ 4,27 milhões atribuídos ao uso de cultivares CP na Flórida/USA no ano 2000, numa área de 186 mil ha, correspondente a média de 23,00 US\$ ha<sup>-1</sup>. COX et al. (2005) apuraram para a safra 2003 da Austrália, com área de 410 mil ha, o retorno médio de 33,00 US\$ ha<sup>-1</sup> no investimento realizado pela iniciativa privada no melhoramento genético da cana-de-açúcar em 30 anos. Por sua vez, FERNANDES e TATIZANA (1991), relataram que a margem de contribuição econômica média das primeiras cultivares SP para as empresas parceiras da COPERSUCAR em São Paulo, entre as safras 1986 e 1990, foi de 99,00 US\$ ha<sup>-1</sup>.

Esses resultados de ganhos de rendimento em açúcar em Alagoas referem-se à média de todas as cultivares adotadas pelos produtores no período de 18 safras (1993/1994 a 2010/2011). No entanto, se for considerada apenas a margem de contribuição econômica da RB92579, que é a variedade mais cultivada atualmente, essa contribuição aumenta expressivamente. Considere-se como exemplo o resultado da safra 2010/2011, onde o rendimento da RB92579 em 80.416 mil hectares suplantou em 1.830 kg de ATR ha<sup>-1</sup> o rendimento da SP79-1011, que era a mais plantada em Alagoas antes da liberação da RB92579. Esta diferença representou nessa safra, margem de contribuição econômica média da RB92579 em relação à SP79-1011 de 625,54 US\$ ha<sup>-1</sup>, ou o montante de US\$ 50,30 milhões. BERDING e MCINTYRE (2010) apresentaram os benefícios médios da cultivar Q200 para indústria açucareira australiana. Revelaram que em sete safras, com área acumulada de 129,5 mil ha de 2003 a 2009, esta cultivar rendeu em média 1,840 t ha<sup>-1</sup> a mais de açúcar em relação às demais, com retorno médio de 82,20 milhões de dólares.

Por tudo isto, pode-se afirmar que o setor canavieiro alagoano não teria conseguido esses ganhos, se não houvesse o desenvolvimento, liberação e adoção da cultivar RB92579, que substituiu a SP79-1011. Por outro lado, estima-se que o custo para desenvolver uma cultivar de cana-de-açúcar varia de US\$ 50 milhões (BARBOSA et. al, 2012) a US\$ 70 milhões (NYKO et al., 2013). Apesar dos grandes benefícios dessas inovações, é muito baixo o gasto das empresas do setor canavieiro brasileiro com as pesquisas na obtenção de cultivares da cana-de-açúcar. BARBOSA et al. (2012) afirmam ser entre 1 a 6 dólares por hectare. Esse gasto das empresas do setor com o germoplasma da cana-de-açúcar equivale a 0,3% do custo de produção. É um índice bem inferior aos 10% do custo de produção que é investido por empresas privadas no desenvolvimento de cultivares do milho (BARBOSA et al., 2012; NYKO et al., 2013). Além do mais, pode-se ainda inferir que a relação benefício/custo do setor canavieiro alagoano na safra 2010/2011 com a adoção da RB92579 foi de 68:1, isto é, para cada 1 unidade de recurso financeiro aplicado pelo produtor, houve o retorno econômico de 68 unidades. No

melhoramento genético de plantas, a taxa de retorno do investimento feito pelo setor privado na pesquisa varia de 8:1 a 38:1 (BERDING e MCINTYRE, 2010). Por sua vez, BURNQUIST et al. (2010) afirmam que 20% do benefício do retorno econômico do uso de uma variedade pelo produtor deveria ser retornado para o programa de melhoramento obtentor da inovação. Por esta análise, os autores sugeriram os seguintes investimentos anuais para os programas de pesquisa em melhoramento genético da cana: Centro de Tecnologia Canavieira – CTC/Brasil, US\$ 77 milhões; Bureau of Sugar Experiment Stations – BSES/Austrália, US\$ 44 milhões; e South African Sugarcane Research Institute – SASRI/África do Sul, US\$ 6 milhões. Também com base na afirmativa destes autores, e a contribuição da RB92579, o programa RIDESA/UFAL deveria ter aporte anual do setor produtivo de pelo menos US\$ 10 milhões.

Do exposto, reafirma-se a grande contribuição do programa RIDESA/UFAL para a agroindústria canavieira alagoana na obtenção de cultivares RB, através de um modelo de parceria pública-privada. Reforça-se, ainda, que este programa deveria ter maiores aportes de recursos financeiros para a continuidade dessas pesquisas.

#### 5.4 CONCLUSÕES

Os resultados analisados e discutidos neste artigo permitem as seguintes conclusões para a cadeia produtiva da cana-de-açúcar de Alagoas entre as safras 1975/1976 e 2010/2011: i) a adoção de novas cultivares causou grande elevação no rendimentos em açúcar, com grande benefício econômico; ii) as cultivares mais adotadas nesse período foram SP70-1143, SP71-1406, RB72454, SP79-1011, SP81-3250, RB83102, RB867515 e RB92579; iii) o ganho em rendimento de açúcar no período 1993/1994 a 2010/2011 foi de 0,200 TARTH, quatro vezes superior ao ganho do período 1975/1976 a 1992/1993; iv) durante os meses de setembro a março (colheita da cana), a ocorrência de precipitação pluvial média de 500 mm possibilita elevar em 0,7 TARTH o rendimento da safra seguinte; mantido esse mesmo nível de chuva no período de colheita, poder-se-ia esperar que, com o uso das cultivares antigas Co331 e CB45-3, seriam alcançados apenas 4,93 TARTH, enquanto a expectativa de rendimento é de 9,94 TARTH com a adoção das atuais cultivares RB e SP; v) o conjunto das cultivares adotadas contribuíram na safra 2010/2011 com adicional extra de US\$ 17,36 milhões e deste montante, US\$ 10,42 milhões podem ser creditados à adoção das cultivares RB; e vi) a adoção da cultivar RB92579 tem causado elevado impacto dos rendimentos em açúcar. Na safra 2010/2011, a RB92579 apresentou margem de contribuição econômica em relação à SP79-1011 de US\$ 625,54 ha<sup>-1</sup>, ou o montante de US\$ 50,30 milhões.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. C. S.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G. V. S.; MOURA FILHO, G.; FERREIRA JR., R. A. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, p.1441-1448, 2008.

ANDRADE, J. C. **Escorço histórico de antigas variedades de cana-de-açúcar**. Maceió: Asplana, 1985. 285p.

ANDRADE, M. C. **Usinas e destilarias das Alagoas**: Uma contribuição ao estudo da produção do espaço. 2 ed. Maceió: Edufal, 2010. 138p.

BARBOSA, G.V.S.; CRUZ, M.M.; SOARES, L.; ROCHA, A.M.C.; RIBEIRO, C.A.G.; SOUZA, A.J.R.; FERREIRA, J.L.C.; BARRETO, E.J.S.; SILVA, W.C.M.; SANTOS, A.V.P. A brief report on sugarcane breeding program in Alagoas, Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.2, p.613-616, 2002.

BARBOSA, M.H.P.; SILVEIRA, L.C.I.; OLIVEIRA, M.W.; SOUZA, V.F.M.; RIBEIRO, S.N.N. RB867515 Sugarcane cultivar. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.1, p.437-438, 2001.

BARBOSA, M.H.P.; RESENDE, M.D.V.; DIAS, L.A.S.; BARBOSA, G.V.S.; OLIVEIRA, R.A.; PETERNELLI, L.A.; DAROS, E. Genetic improvement of sugar cane for bioenergy: the Brazilian experience in network research with RIDESA. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** S2, v.12, p.87-98, 2012.

BERDING, N.; MCINTYRE, R. K. Evaluation of commercial performance and attributes of Q200 in north Queensland. **Australian Society of Sugar Cane Technologists**, v.32, p.262-277, 2010.

BRAGA JR., R. L.C.; OLIVEIRA, I. A.; RAIZER, J. A. Evolução das áreas cultivadas com variedades de cana-de-açúcar no Brasil nos últimos vinte anos. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.30, p.46-50, 2011.

BURNQUIST, W.L.; REDSHAW, K.; GILMOUR, R.F. Evaluating sugarcane R&D performance: evaluation of three breeding programs. **International Society Sugar Cane Technologists**. v.27, p.1-15, 2010.

CARR, M. K. V.; KNOX, J. W. The water relations and irrigation requirements of sugar cane (*Saccharum officinarum*): a review. **Experimental Agriculture**, v.47, p.1-25, 2011.

CARVALHO, C. P. O. **Análise da reestruturação produtiva da agroindústria sucroalcooleira alagoana**. Maceió: EDUFAL, 2000. 74p.

COX, M. C.; STRINGER, J. K.; CERVELLIN, R. J. Productivity increases from new varieties in the Queensland sugar industry. **Australian Society of Sugar Cane Technologists**. v.27, p.124-132, 2005.



DUVICK, D. N. Genetic progress in yield of United States maize (*Zea mays* L.). **Maydica**, v.50, p.193-202, 2005.

EDMÉ, S.J.; MILLER, J.D.; GLAZ, B.; TAI, P.Y.P.; COMSTOCK, J.C. Genetic contribution to yield gains in the Florida sugarcane industry across 33 years. **Crop Science**, v.45, p.92-97, 2005.

FERNANDES, A. C.; TATIZANA, S. A. Retorno econômico do Programa de Melhoramento de cana-de-açúcar da Copersucar nas safras 86/87 a 90/91. In: **V Seminário de Tecnologia Agrônômica**. Copersucar. Piracicaba, 1991. p. 79-95.

IAA-INSTITUTO DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL. **BRASIL/AÇÚCAR**. MIC/IAA, Coleção Canavieira nº 8. Rio de Janeiro. 1972. 244p.

IVO, W. M. P. M.; ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D.; BARBOSA, G. V. S.; VASCONCELOS, J. N. Impulsionando a produção e a produtividade da cana-de-açúcar. In: **Agricultura Tropical: Quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. 1 ed. Brasília: Embrapa, 2008, v.1, p. 673-716.

JACKSON, P.A. Breeding for improved sugar content in sugarcane. **Field Crops Research**, v.92, p.277-290, 2005.

LANDELL, M.G.A.; BRESSIANI, J.A. Melhoramento genético, caracterização e manejo varietal. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Eds.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2008. p.101-179.

MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A. F.; ARIZONO, H. Melhoramento de cana-de-açúcar. In: BOREM, A. (ed.) **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2 ed., Viçosa: Editora da UFV, p.205 – 274. 2005.

MATSUOKA, S.; FERRO, J; ARRUDA, P. The Brazilian experience of sugarcane ethanol industry. **In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant**, v.45, p.372–381, 2009.

MOORE, P. H. Integration of sucrose accumulation processes across hierarchical scales: towards developing an understanding of the gene-to-crop continuum. **Field Crops Research**, v.92, p.119-135, 2005.

NETER, J.; WASSERMAN, W. **Applied linear statistical models**. Homewood III: Irwin, 1974. 842p.

NYKO, D.; VALENTE, M. S.; MILANEZ, A. Y.; TANAKA, A. K. R.; RODRIGUES, A. V. P. A evolução das tecnologias agrícolas do setor sucroenergético: estagnação passageira ou crise estrutural? **Bioenergia**. BNDES Setorial v.37, p.399-442, 2013.

RAMALHO, M. A. P.; DIAS, L. A. S.; CARVALHO, B. L. Contributions of plant breeding in Brazil – progress and perspectives. **Crop Breeding and Applied Biotechnology S2**, v.12, p.111-120, 2012.

SEGALLA, A. L.; ALVAREZ, R. Ensaios de variedades de cana de açúcar: I-Série de ensaios realizados de 1951 a 1954. **Bragantia**, v.15, p.373-392, 1956.

SINDAÇÚCAR. SINDICATO DA INDÚSTRIA DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL NO ESTADO DE ALAGOAS. Maceió. Disponível em: <http://www.sindacucar-al.com.br> Acessado em 07 de novembro de 2012.

SOUZA, J. L.; MOURA FILHO, G.; LYRA, R. F. F.; TEODORO, I.; SANTOS, E. A.; SILVA, J. L.; SILVA, P. R. T.; CARDIM, A. H.; AMORIN, E. C. Análise da precipitação pluvial e temperatura do ar na região do tabuleiro costeiro de Maceió, AL, período de 1972-2001. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.12, p.131-141, 2004.

TEODORO, I.; SOUZA, J. L.; BARBOSA, G. V. S.; MOURA FILHO, G.; DANTAS NETO, J.; ABREU, M. L. Crescimento e produtividade da cana-de-açúcar em cultivo de sequeiro nos tabuleiros costeiros de Alagoas. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**. v.27, p.46-49, 2009.

THOMPSON, G. D. Water use by sugarcane. **South African Sugar Journal**. v.60 (11) p. 593-600, v.60 (12), p.627-635, 1976.

WACLAWOVSKY, A. J.; SATO, P. M.; LEMBKE, C. G.; MOORE, P. H.; SOUZA, G. M. Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content. **Plant Biotechnology Journal**, v.8, p.263-276, 2010.

## 6 CONCLUSÕES GERAIS

A estratégia adotada pelo melhoramento genético da cana-de-açúcar em Alagoas, entre 1975 a 1992, visando incrementar o teor de sacarose das cultivares plantadas, contribuiu com ganho anual no rendimento de açúcar de 80 kg ha<sup>-1</sup>. Por sua vez, a estratégia empregada de 1993 a 2010, visando aumentar o rendimento agrícola das cultivares plantadas, contribuiu com ganho anual no rendimento de açúcar de 140 kg ha<sup>-1</sup>, tendo expressiva contribuição da cultivar RB92579.

Foi evidenciada grande eficácia da seleção recorrente para duas gerações da RB72454. Em rendimento de sacarose, a RB72454 aumentou 27,84% em relação à CB45-3. As cultivares da primeira geração da RB72454 incrementaram 9,46% em relação à RB72454. E as cultivares da 2ª geração da RB72454 superaram 10,22% em relação às cultivares da 1ª geração da RB72454. Ainda não foi atingido um limite de acumulação de sacarose da cana, indicando possível ganho para a próxima geração da RB72454.

Nas últimas três décadas, as cultivares mais adotadas em Alagoas, e que substituíram a Co331 e CB45-3, foram: SP70-1143, SP71-1406, RB72454, SP79-1011, SP81-3250, RB83102, RB867515 e RB92579. Entre as safras 1993/1994 e 2010/2011 houve ganho médio anual de 0,200 t de açúcares redutores totais ha<sup>-1</sup> (TARTH), valor quatro vezes superior ao progresso médio anual observado entre as safras 1975/1976 e 1992/1993. Com o uso das cultivares Co331 e CB45-3, poder-se-ia esperar rendimento médio de 4,93 TARTH, valor muito inferior ao rendimento médio de 9,94 TARTH, com o uso das cultivares das siglas RB e SP. As cultivares adotadas contribuíram na safra 2010/2011 com adicional extra de US\$ 17,36 milhões, e deste montante, US\$ 10,42 milhões podem ser creditados à adoção das cultivares RB. Em 2010, a RB92579 contribuiu a mais que à SP79-1011, o montante de US\$ 50,30 milhões, ou 625,54 US\$ ha<sup>-1</sup>.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Alagoas é uma das menores unidades federativas do Brasil. Desde o seu povoamento no ano de 1570, sua formação é ligada ao cultivo da cana-de-açúcar. A história de Alagoas é a história do açúcar. Começou com a construção dos engenhos banguês, atingindo quase 1.000 unidades em 1905, que se transformaram nas atuais 24 usinas que produzem açúcar, etanol e eletricidade, com o apoio de 7.650 fornecedores de cana.

Em diversas períodos, o melhoramento genético deu grande contribuição para essa cadeia produtiva. Mas, acertadamente, o marco maior foi a cooperação entre agentes públicos e privados, que estabeleceu em 1967 o Banco de Germoplasma da Estação de Floração e Cruzamento Serra do Ouro. Este feito foi fundamental para que em 1970 desse início o desenvolvimento das cultivares RB. Expressiva contribuição econômica para as empresas do setor canavieiro alagoano foi dada por essas cultivares, atividades inicialmente desenvolvidas pelo PLANALSUCAR, e que desde 1990 está sob o comando do programa de melhoramento da RIDESA/UFAL, em parceria com demais Universidades da RIDESA e empresas do setor sucroalcooleiro.

É de capital importância destacar que o desenvolvimento dessas inovações tecnológicas pelo PMGCA do CECA/UFAL também causaram grandes impactos positivos, tais como: i) contínua formação de recursos humanos; ii) publicação de inúmeros trabalhos científicos; iii) geração de divisas para Alagoas; iv) geração de emprego e renda; v) melhoria ambiental, dispensando o uso intensivo de agrotóxicos; vi) avanço tecnológico, com a proteção de 12 cultivares RB em nome da UFAL; e vii) consolidação de uma expertise em melhoramento genético da cana-de-açúcar.

Por fim, é importante reforçar que, havendo maior aporte de recursos financeiros do setor privado e do Governo Federal, usando-se esse fabuloso Banco de Germoplasma e empregando-se novas estratégias, é possível selecionar genótipos com ganhos de rendimento em açúcar ainda mais expressivos.